HERSANT
BINDER
15. GOWER PLACE

120
6.
XXIX f 23

Digitized by the Internet Archive
in 2020 with funding from
Wellcome Library

https://archive.org/details/s487id13663420

ANNUAIRE
SCIENTIFIQUE

SEPTIÈME ANNÉE

1868

137

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

LES PROGRÈS DES SCIENCES EN 1867

ANNUAIRE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉ PAR

P.-P. DEHÉRAIN

DOCTEUR ÈS SCIENCES, LAURÉAT DE L'INSTITUT

PROFESSEUR DE CHIMIE A L'ÉCOLE CENTRALE D'ARCHITECTURE ET AU COLLÉGE CHAPTAL
CHARGÉ DE COURS A L'ÉCOLE IMPÉRIALE D'AGRICULTURE DE GRIGNON
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

Dr P. BROUARDEL ; **CH. GARIEL**, ingénieur des ponts et chaussées ;
CH. GOSCHLER, ingénieur civil, **A. GUILLEMIN**, auteur du *Ciel*;
MARGOLLÉ, ancien officier de marine;
MENU DE SAINT-MESMIN, préfet général des études au collége Chaptal;
POURIAU, docteur ès sciences, sous-direct. de l'École impériale d'agriculture de Grignon ;
G. RAYET, astronome à l'Observatoire de Paris ; **A. REITOP** ;
P. SCHWÆBLÉ, ingénieur, ancien officier d'artillerie ;
L. SIMONIN, ingénieur, professeur à l'Ecole centrale d'architecture;
G. TISSANDIER ; **Dr U. TRÉLAT**, chirurgien des hôpitaux;
E. VIGNES, professeur suppléant au collége Chaptal;
Dr JULES WORMS, médecin de l'hôpital Rothschild;
ZURCHER, ancien officier de marine.

SEPTIÈME ANNÉE

1868

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND

PARIS

VICTOR MASSON ET FILS

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

Tous droits réservés

AVERTISSEMENT

Dès l'an dernier nous avons donné dans l'*Annuaire*, une place importante aux notices nécrologiques et à la bibliographie. Il était fâcheux qu'un livre qui s'efforce de fournir au public des indications précises sur les événements scientifiques de l'année, laissât partir sans leur adresser un dernier adieu, les vaillants capitaines de l'armée scientifique ; l'avantage de cette innovation s'est particulièrement fait sentir pendant cette triste année, qui semble s'être acharnée sur le monde savant ; le grand Faraday associé étranger de notre Académie, Flourens, secrétaire perpétuel, Pelouze, Velpeau, le général Poncelet, Rayer, Jobert (de Lamballe) ont été frappés tour à tour, un médecin célèbre Trousseau, un riche amateur des sciences lord Rosse, un ingénieur distingué Perdonnet, sont morts également en 1867 ; le lecteur trouvera dans cet ouvrage six notices biographiques et nous reviendrons l'an prochain sur la carrière de ceux de ces savants que le temps ne nous a pas permis d'étudier avant l'impression de ce volume.

La publication d'un ouvrage a souvent un intérêt égal à l'insertion d'un mémoire dans un recueil scientifique, aussi avons-nous joint à chacun des chapitres de l'*Annuaire* un

paragraphe consacré à la bibliographie ; nous avons rendu compte cette année des ouvrages de MM. Helmholtz, Marey, Becquerel, Guillemin, Pasteur, Vergnette-Lamothe, Tyndall, Goschler, Tissandier, Sanson, Fonssagrives, Giraud-Teulon et Saigey.

Le grand événement de l'année, l'Exposition universelle, nous a conduit a donner un développement inusité à l'art de l'ingénieur et à la physique appliquée, et nous aurions eu grand'peine à remplir notre tâche si, à notre collaborateur M. G. Rayet, dont les lecteurs de l'*Annuaire* ont pu goûter depuis plusieurs années les écrits, n'étaient venus s'adjoindre, M. Goschler, ingénieur civil, connu du public par son Traité des chemins de fer ; M. Pouriau, sous-directeur de l'école de Grignon, et notre collègue en physique à cette école, et enfin M. Ch. Gariel que nous avons eu l'honneur d'avoir pour élève au collége Chaptal et qui a depuis brillamment traversé l'École polytechnique et l'École des ponts et chaussées.

L'Exposition, les discussions qui se sont produites dans les diverses sociétés médicales ont vivement appelé l'attention sur plusieurs problèmes d'économie sociale que nous n'avons pas cru devoir passer sous silence, bien qu'ils puissent paraître en dehors de nos études habituelles; c'est à ces préoccupations que nous devons l'écrit de M. le docteur U. Trélat, sur la population de la France, celui de M. Menu de Saint-Mesmin sur les habitations ouvrières, le travail de M. le docteur Worms sur les efforts tentés en différents pays pour soulager les misères de la guerre. — Bien que l'agriculture n'ait pas eu à la dernière Exposition tout l'éclat qu'on aurait pu attendre de cette industrie vitale pour la France, nous avons cependant consacré une notice aux questions relatives aux engrais, à leur

emploi et à leur mode d'agir, et nous avons indiqué, dans une notice séparée, les procédés proposés récemment par M. Pasteur pour conserver les vins.

Nous n'avons eu qu'un mot à ajouter à l'article publié ici même l'an dernier par M. Zurcher sur le pôle nord, pour rappeler que ce serait une honte pour la France si elle ne fournissait pas à M. G. Lambert la somme qui lui est nécessaire pour le voyage aventureux qu'il projette; mais ce chapitre eût été bien incomplet si M. Simonin ne nous avait donné un intéressant article sur le chemin de fer du Pacifique publié d'abord dans la *Revue des Deux Mondes*, puis complété après le voyage que notre intrépide collaborateur a fait cet automne au Colorado.

Bien que la première partie du volume, consacrée aux sciences pures, soit moins étendue que celle qui a trait aux sciences appliquées, nous avons cependant étudié plusieurs faits importants. M. A. Guillemin a écrit pour nous des notices sur les étoiles filantes, sur les volcans lunaires, et nous a rappelé les principaux incidents de l'interminable discussion que subit l'Académie, au sujet de la pseudo-correspondance de Pascal; un travail sur les animaux fossiles découverts par M. Gaudry, en Attique, dû à M. Vignes, un résumé des travaux de M. Berthelot et M. Friedel, se trouvent encore dans la première partie de l'ouvrage.

La marche en avant ne s'est pas ralentie cette année; la lumière se fait : les causes mystiques, les phénomènes mystérieux dont on nous parlait naguère encore, s'évanouissent peu à peu. Les travaux de M. Gernez sur les dissolutions sursaturées que nous a rappelé M. Rayet, nous expliquent les *caprices* de certaines expériences et nous permettent de ne plus les craindre; les propriétés curieuses de condensation que manifestent les métaux, et

notamment le palladium, observées par M. Graham, auront pour effet de faire disparaître de la science la *force catalytique*, d'ajouter à nos connaissances sur l'état naissant, en même temps que, par une conclusion aussi curieuse qu'inattendue, ils nous donnent quelques notions précises sur l'origine des fers météoriques.

Toutes ces questions de détails disparaissent cependant devant l'importance de celle qu'a abordé M. Saigey. Est-il temps déjà de rapporter l'ensemble des forces physiques aux seuls mouvements de l'éther? Peut-on substituer aux hypothèses particulières qui relient les phénomènes de la chaleur ou ceux de la lumière ou de l'électricité, une hypothèse unique? Peut-on esquisser une théorie générale réunissant les phénomènes dus aux fluides impondérables, à la pesanteur, à l'affinité chimique? M. Saigey l'a tenté : il a voulu esquisser l'ensemble de la nouvelle physique, et cette entreprise audacieuse ne pouvait nous laisser indifférents; aussi l'un des rédacteurs les plus autorisés de l'*Annuaire* s'est-il chargé de la tâche délicate d'examiner le livre de M. Saigey.

Le science coutinue donc sa marche en avant, rien n'émeut sa sérénité, la mort des plus illustres, les chagrins des plus humbles, ne la touchent point; pour tous elle n'a que cet austère encouragement qui doit suffire aux cœurs élevés : « Que chacun fasse son devoir. »

P.-P. D.

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

I

LES ÉTOILES FILANTES

DU MOIS DE NOVEMBRE 1866

La nuit du 13 au 14 novembre de l'année dernière a été signalée par une recrudescence notable dans le nombre des météores qui caractérisent depuis longtemps cette époque de l'année. L'année 1865 avait déjà fait pressentir le retour des maximum de 1799 et de 1833, et donnait un grand poids à la prédiction d'Olbers, basée, comme nous le dirons plus loin, sur la périodicité d'environ un tiers de siècle que cet astronome attribuait au phénomène. Aujourd'hui, sur ce point, le doute n'est plus permis. Il reste seulement à savoir si c'est à l'année 1866 où à l'année présente 1867, que doit être fixée l'apparition du maximum. Au moment où nous écrivons ces lignes, cette question n'est pas encore décidée : mais nous espérons, pendant l'impression de l'*Annuaire*, pouvoir recueillir quelques-unes des observations prochaines, et en donner la primeur à nos lecteurs dans une note supplémentaire.

En attendant, et pour bien comprendre la portée de la question

qui fait le sujet de cette notice, nous allons montrer comment le phénomène des étoiles filantes a été définitivement rattaché au système du monde, et considéré comme un phénomène cosmique, dans toute l'acception du mot.

I

Examinons d'abord le phénomène en lui-même et entrons dans quelques détails sur les circonstances qu'il présente à l'observation.

On donne le nom d'étoiles filantes à des points lumineux qui, apparaissant subitement pendant la nuit au milieu des étoiles, se meuvent avec plus ou moins de rapidité, et disparaissent sans laisser de traces de leur passage. Le nombre de ces apparitions varie, ainsi qu'on le verra plus loin, selon l'époque de l'année ; mais il ne se passe pas une seule nuit où un observateur ne puisse noter, si le ciel est serein, quelques-uns de ces météores.

Le point lumineux est quelquefois suivi d'un appendice, d'une queue ou traînée, le plus souvent phosphorescente, dirigée selon la trajectoire apparente de l'étoile. Cette traînée est tantôt droite, tantôt curviligne, à bords parallèles ou divergents, moins large au début qu'à la fin de l'apparition. Quelquefois elle est plus large au milieu, de façon à affecter, dans son ensemble, l'apparence d'un fuseau très-allongé. La persistance souvent assez longue de ces appendices montre qu'il s'agit d'un objet réel, non d'une simple apparence optique due à l'impression sur la rétine du mouvement du point lumineux. L'amiral Krusenstern observa un météore dont la traînée resta visible pendant une heure : il s'agissait, à la vérité, d'un bolide, météore qu'on distingue ordinairement des étoiles filantes proprement dites par la grosseur de leurs diamètres apparents et la lenteur plus grande avec laquelle ils parcourent leurs trajectoires.

Les étoiles filantes ont l'aspect des étoiles ordinaires, et, comme celles-ci, présentent divers ordres de grandeurs. On en a observé dont l'éclat égalait celui de Jupiter et de Vénus ; quant aux météores dont le diamètre apparent approche du diamètre lunaire ou même le dépasse, si l'on en croit certaines observations, c'est parmi les bolides qu'il convient de les ranger.

La lumière des étoiles filantes est quelquefois colorée de diverses nuances ; néanmoins le plus grand nombre apparaissent blanches, ainsi que le montre le résumé suivant de 4,000 étoiles filantes observées en 9 ans :

Blanches, environ les.	2/3
Jaunes, —	2/7
Jaunes rouges, —	1/17
Vertes, —	1/37

Dans la nuit du 13 au 14 novembre 1866, remarquable par le grand nombre de météores observés, la couleur rouge ou rouge jaune parut la plus commune pour le noyau lumineux constituant l'étoile ; la traînée était d'un bleu verdâtre.

Nous venons de dire que le nombre des étoiles filantes varie considérablement suivant les époques des observations : en effet, dès que le phénomène fut l'objet de recherches assidues et régulières, on constata le retour, à certaines dates à peu près fixes, telles que les nuits des 10 au 12 août, des 11 au 14 novembre, de véritables flux ou essaims de météores. De là, la distinction des étoiles filantes, en étoiles sporadiques ou isolées, et en essaims périodiques. Aujourd'hui, cette distinction tend à s'effacer, parce que le nombre des étoiles filantes assujetties à une marche commune et à des retours périodiques s'est considérablement augmenté. « Les étoiles sporadiques paraissaient être, il y a quelques années, le fonds du phénomène, et les flux d'août ou de novembre l'exception. Aujourd'hui, c'est tout le contraire : les observations du docteur Heis et de M. Alexandre Herschel nous ont appris que les flux réguliers, caractérisés par des points radiants nombreux, espacés plus ou moins régulièrement sur tout le trajet annuel de la Terre, forment le fonds du phénomène, tandis que les étoiles sporadiques tendent à devenir l'exception de plus en plus rare. » (Faye, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 24 décembre 1866.)

Autrefois, on considérait ces météores comme ayant une origine purement atmosphérique ; mais peu à peu on acquit la certitude qu'ils viennent des profondeurs du ciel, que ce sont de véritables corps célestes en mouvement dans l'espace et qui, venant à rencontrer la Terre, s'enflamment en traversant à une certaine hauteur l'enveloppe atmosphérique. Dès lors, l'étude de ces phé-

nomènes n'est plus exclusivement du domaine de la météorologie ; elle appartient aussi à l'astronomie, dont elle ne constitue pas une des branches les moins intéressantes. Le court aperçu historique qui va suivre fera comprendre comment s'est effectuée cette transition de la première à la seconde de ces hypothèses et quelles raisons militent en faveur de la seconde.

Pendant très-longtemps, on s'était borné à noter les apparitions plus ou moins fréquentes d'étoiles filantes, sans tenir un registre exact du nombre des météores, pas plus que des dates précises où on les avait observés. L'idée qu'il ne s'agissait là que de météores atmosphériques, prenant naissance et s'éteignant dans les hautes régions de l'air, n'a pas peu contribué, croyons-nous, à cette négligence des astronomes observateurs. Évidemment, ce genre d'observations sortait, pour eux, de leur domaine. Veut-on une preuve convaincante de cette assertion ? Voici ce qu'on lit sur ce sujet dans l'*Encyclopédie :*

« *Étoiles tombantes.* (Physique.) — On donne ce nom à un petit globe de feu qu'on voit quelquefois rouler dans l'atmosphère, et qui répand çà et là une lumière assez vive. » Et, pour appuyer cette définition, l'auteur de l'article, qui n'est autre que d'Alembert, cite le passage suivant des *Essais de physique* de Muschenbroek, publiés en 1683. « Ce globe tombe aussi quelquefois à terre ; et comme il a quelque ressemblance avec une étoile, on lui donne le nom d'*étoile tombante.* Il paraît ordinairement au printemps et dans l'automne. Lorsque cette étoile vient à tomber et qu'on rencontre l'endroit où elle est, on remarque que la matière qui reste encore est visqueuse comme de la colle, de couleur jaunâtre, et que tout ce qui en était combustible, ou qui pouvait répandre de la lumière, se trouve entièrement consumé. On peut imiter ces sortes d'*étoiles*, en mêlant ensemble du camphre et du nitre avec un peu de limon, que l'on arrose avec du vin ou de l'eau-de-vie. Lorsqu'on a formé de ce mélange une boule, et qu'on la jette dans l'air après y avoir mis le feu, elle répand en brûlant une lumière semblable à celle de l'*étoile tombante;* et quand elle est tombée, il ne reste plus qu'une matière visqueuse qui ne diffère pas de celle que laisse l'étoile après sa chute. »

Cette dernière expérience suggère à Muschenbroek l'explication, que nous allons rapporter encore, du phénomène des *étoiles filantes*. Elle montre nettement que les savants du dix-septième

siècle les considéraient comme de simples météores physiques, et cette opinion, qui avait cours encore au milieu du siècle suivant, puisque l'article écrit par d'Alembert date de 1756, est reproduite sans commentaires par de Lalande, dans l'*Encyclopédie méthodique*, en 1784. Voici l'explication de Muschenbroek :

« Il flotte çà et là dans l'air du camphre qui est fort volatil ; il y a aussi beaucoup de nitre et du limon fort délié ; de sorte que ces parties venant à se rencontrer, s'incorporent et forment une longue traînée, qui n'a plus alors besoin que d'être allumée par l'une où l'autre de ses extrémités, à l'aide de l'effervescence qui se fait par le mélange de quelque autre matière qu'elle rencontre. Aussitôt que cette traînée est en feu, et que la flamme passe d'un bout à l'autre, la matière incombustible se rassemble ; elle devient beaucoup plus pesante que l'air, et tombe alors pour la plus grande partie à terre. La nature emploie peut-être encore quelque autre matière pour produire ce phénomène. »

Une semblable théorie, qui faisait des étoiles filantes de simples exhalaisons terrestres, devait ôter aux astronomes toute pensée d'une observation suivie et méthodique. Ce n'est qu'à la fin du siècle dernier, peu après la publication d'un opuscule sur les météores où le créateur de l'acoustique moderne, l'illustre Chladni, recommandait l'observation simultanée des étoiles filantes, que deux savants allemands, Brandt et Benzenberg, eurent la gloire d'inaugurer la série des études qui depuis n'ont pas été interrompues. Dans la préface de son *Traité d'acoustique*, Chladni fait modestement remonter à Lichtenberg la première pensée, nettement formulée, de l'origine cosmique des météores. Voici dans quels termes il raconte les circonstances qui l'ont décidé à publier son mémoire :

« Ce fut Lichtenberg, aussi intéressant par ses idées ingénieuses que par ses travaux pour la physique, qui donna une seconde fois l'impulsion à la marche de mes idées. Étant en 1792 à Gœttingue, je lui demandai son opinion sur la nature des météores ignés qu'on appelle *bolides*, dont les phénomènes, comme la flamme, la fumée, l'explosion, etc., étaient très-peu conformes aux phénomènes électriques, avec lesquels on les avait confondus. Il répondit que la meilleure manière d'expliquer ces phénomènes serait d'attribuer à ces météores une origine plutôt *cosmique* que *tellurique*, c'est-à-dire, de supposer que c'était quelque chose d'étranger qui

arrivait du dehors dans notre atmosphère, à peu près comme Sénèque avait bien expliqué la nature des comètes, qu'on a pourtant regardées, pendant beaucoup de siècles, comme des météores atmosphériques, jusqu'à ce que Dorfel, pasteur saxon, eût montré que Sénèque avait raison. Frappé de cette assertion de Lichtenberg, j'ai consulté les ouvrages et les mémoires qui contenaient des relations de semblables météores et des pierres ou masses de fer qu'on avait vues tomber quelquefois à la suite d'un pareil météore, et enfin j'ai publié les résultats de mes recherches dans un mémoire qui a paru à Leipzig en 1794. J'ai démontré dans ce mémoire : 1° que les relations qu'on avait données de pierres ou de masses de fer tombées avec beaucoup de fracas à la suite d'un météore igné, n'étaient pas des fictions ou des illusions, mais des observations d'un phénomène réel ; 2° que ces masses et ces météores sont quelque chose d'étranger à notre globe qui arrive du dehors. Au commencement, on ne fut pas d'accord avec moi ; quelques critiques d'Allemagne supposèrent même que je n'avais pas avancé cela sérieusement, mais dans l'intention un peu maligne de voir quel parti les physiciens prendraient, et jusqu'à quel point la crédulité de quelques personnes pourrait aller. En France, M. Pictet fut le premier à appeler l'attention des physiciens sur ce que mon mémoire contient ; mais on ne croyait pas même à la possibilité d'une chute de pierres, jusqu'à ce qu'en 1802, le mémoire de Howard, et en 1803, la chute de pierres arrivée à Laigle, et constatée par M. Biot, prouvèrent que je ne m'étais pas livré à des écarts d'imagination, ce qui depuis ce temps s'est constaté davantage par les météores nombreux qu'on a observés, et par les recherches qu'on a faites. »

L'objet particulier que se proposaient Brandt et Benzenberg était de déterminer la hauteur à laquelle s'enflamment et s'éteignent les météores, ce qui exige qu'on note avec soin la position apparente de chacun d'eux en des stations suffisamment éloignées pour que la parallaxe devienne sensible. Ayant d'abord choisi une base trop courte, ils n'obtinrent pas cette parallaxe avec une précision suffisante. Ils choisirent des stations séparées par un plus grand intervalle et le succès couronna leurs efforts. Sur 344 étoiles filantes observées en 3 nuits, ils en notèrent 16, dont la hauteur moyenne au moment de la disparition était environ de 56 kilomètres, la hauteur maximum calculée fut de 92 kilomètres. Ayant

pu, en outre, calculer la hauteur de deux d'entre elles au moment de leurs apparitions, ils en déduisirent des vitesses de 20 à 24 kilomètres par seconde, vitesse comparable à celles des planètes dans leurs orbites. Ainsi se trouvèrent justifiées les conjectures de Lichtenberg et de Chladni sur l'origine probablement cosmique de ces météores. De nombreuses observations suivirent celles des deux physiciens allemands : Farey et Bevan en Angleterre, Olbers, Bessel, Harding en Allemagne, puis, plus tard, Quételet en Belgique, Erman à Berlin, Heis et Schmidt, Coulvier-Gravier et Saigey apportèrent successivement à cette branche nouvelle d'astronomie physique, les matériaux qui en ont fait une des plus curieuses de la science.

Les récentes observations de novembre 1866, faites simultanément à Greenwich, à Cambridge, à Hawkhurst et à Münster ont donné, pour 10 étoiles filantes, les hauteurs moyennes résumées dans le tableau suivant par A. Herschel :

	Hawkhurst.	Munster.
Hauteur moyenne au moment de l'apparition.	116^{k}	124^{k}
Hauteur moyenne au centre de la course visible. . .	103	98
Hauteur moyenne au moment de la disparition. . . .	87	71

D'après le professeur Newton, la hauteur ordinaire des étoiles filantes au milieu de leur course apparente est un peu inférieure à celle qui résulte du tableau précédent : elle est environ de 96 kilomètres.

On a vu, dans le passage de Chladni que nous avons cité, que les bolides ou globes de feu, les aérolithes ou pierres tombées du ciel, et enfin les étoiles filantes proprement dites, furent, dès le début, considérés comme ayant une commune origine. C'est encore aujourd'hui l'opinion des savants qui ont étudié avec le plus de soin ces divers phénomènes : seulement, on ne les regarde plus comme absolument identiques, ainsi que nous aurons l'occasion de le dire avec plus de détails.

Les premiers observateurs se proposaient principalement de recueillir quelques données géométriques certaines sur les météores : il fallait pour cela ne manquer aucune occasion, et il en résulta un enregistrement régulier et méthodique des apparitions, de leur fréquence plus ou moins grande et de toutes les circonstances propres à les distinguer les unes des autres. Alors, le pro-

blème se présenta sous une autre face, qui ne le cède en rien à la première, au point de vue de l'intérêt. Voici quelques-uns des résultats obtenus dans cette voie.

Il ne se passe pas de nuits, du moins si l'on en juge par celles où le ciel est assez découvert de nuages pour rendre les observations possibles, où l'on n'aperçoive des étoiles filantes. Mais la plupart du temps, ces météores apparaissent isolés, à des intervalles irréguliers et sans direction particulière. C'est à ces étoiles filantes isolées, qu'on a donné d'abord le nom d'étoiles filantes *sporadiques*. En dehors de ces apparitions partielles, on voit de temps à autre le phénomène prendre une importance inusitée : les météores se montrent par groupes pressés, par essaims assez nombreux pour qu'on leur ait donné le nom de pluies, de flux ou d'averses météoriques. Dans ce cas, les directions que suivent les étoiles filantes pendant leur course apparente, affectent le plus souvent une direction particulière : le plus grand nombre d'entre elles semble diverger d'une même région du ciel, comme si elles émanaient d'un centre commun. Dès que l'attention des observateurs fut portée vers ces apparitions extraordinaires, ils s'appliquèrent à comparer leurs dates à celles des pluies météoriques qu'avait enregistrées l'histoire. On compulsa les chroniques depuis les temps les plus anciens jusqu'à nos jours, les observations chinoises furent mises à profit, et on ne tarda pas à reconnaître que les essaims d'étoiles filantes ne diffèrent pas seulement des étoiles sporadiques par leur nombre et par la communauté de direction de leurs trajectoires, mais aussi par une certaine périodicité dont la durée, encore mal déterminée pour quelques essaims, s'accuse avec netteté pour les autres.

II

L'observation des étoiles filantes, tant sporadiques que périodiques, exige une grande assiduité. Un observateur ne suffit pas, le champ de vue qu'il peut embrasser sur le ciel étant nécessairement limité. D'après M. Herrick, qui a longtemps étudié le phénomène à New-Haven (États-Unis), il ne faut pas moins de neuf personnes (le professeur Newton estime ce nombre à douze) se partageant également les diverses zones de la voûte céleste en chaque

point du globe, pour être sûr de ne manquer aucun météore. Comme ces conditions sont rarement remplies, il n'est pas étonnant de trouver des nombres assez différents dans les évaluations moyennes des étoiles filantes isolées, qu'on peut apercevoir en une heure par un temps ordinaire. Le savant que nous venons de citer porte ce nombre à trente pour quatre observateurs dont chacun examine un quart du ciel. M. Coulvier-Gravier porte la moyenne horaire à six étoiles filantes, mais il ne suppose que deux observateurs ; Olbers en comptait cinq ou six, et M. Quételet huit ; et cependant ces deux derniers nombres ne s'appliquent qu'aux étoiles filantes vues par une même personne. Enfin, voici ce que dit à ce sujet un observateur familier avec l'étude du phénomène, M. Jules Schmidt (de Bonn), actuellement directeur de l'Observatoire d'Athènes : « A la suite d'un grand nombre d'observations, répétées pendant un laps de temps qui varie de trois à huit années, la moyenne des étoiles filantes sporadiques se trouve être de quatre à cinq par heure. Cela est l'état habituel, en dehors des phénomènes périodiques. » Il faut ajouter que les nombres précédents doivent être à peu près doublés, si l'on veut connaître le nombre total d'étoiles filantes qui sillonnent le ciel entier, puisqu'en chaque lieu la partie de la voûte céleste visible n'embrasse qu'un seul hémisphère. Enfin, en les multipliant par 24, on aurait le nombre total quotidien des météores.

La distribution des étoiles filantes sporadiques aux diverses époques de l'année n'est pas uniforme : non-seulement les moyennes mensuelles diffèrent notablement les unes des autres, mais celles des six premiers mois forment un total très-sensiblement inférieur à celui qu'on obtient avec les moyennes des six derniers mois. Cela revient à dire que le nombre des météores est moindre, quand la Terre parcourt la portion de son orbite située entre le périhélie et l'aphélie, que pendant son trajet de l'aphélie au périhélie. C'est un résultat d'autant plus remarquable, que la même différence s'accuse dans le nombre des bolides observés et des chutes de pierres constatées. D'ailleurs, les documents historiques, notamment ceux qui proviennent des annales chinoises fournissent aussi la même conclusion.

Arrivons maintenant aux apparitions en masses, aux essaims d'étoiles filantes qui, pour la plupart, se reproduisent périodiquement. Les deux époques de l'année où ces phénomènes se mon-

trent avec le plus d'éclat sont, d'une part, les jours voisins du 10 août, et d'autre part, les 12, 13 et 14 de novembre.

La pluie de Saint-Laurent, c'est ainsi qu'on désigne l'averse du 10 août, du nom du saint auquel ce jour est consacré dans l'Église catholique, a été l'objet d'observations nombreuses et suivies. La tradition populaire même s'en était emparée, et en Irlande, les populations pieuses y voyaient le symbole des larmes brûlantes du martyr. Muschenbroek, dès le dix-septième siècle, signalait le phénomène; mais c'est à Olbers, à Benzenberg, à Herrick et à Quételet que revient le mérite d'avoir les premiers reconnu et fixé la périodicité de l'apparition. Les nombres horaires varient, pour cette époque, d'une année à l'autre. En 1836, M. Walferdin en a compté trois cent seize en une heure; à Naples, en 1839, MM. Capocci et Nobile en ont observé mille en quatre heures. D'après les moyennes de M. Coulvier-Gravier, les années 1840, 1844, 1848 ont présenté chacune un maximum très-marqué. Malheureusement, il est assez difficile de tirer des conclusions des nombres donnés par les divers observateurs, et de reconnaître si l'averse du 10 août suit, dans le cours des années, une marche régulière et affecte une périodicité aussi tranchée que celle des essaims de novembre. Non-seulement les conditions météorologiques favorables à l'observation, la pureté de l'atmosphère, la présence ou l'absence de la Lune, varient d'une année ou d'une station à l'autre, mais le nombre des observateurs en chaque lieu et les ressources dont ils disposent ne sont pas partout les mêmes.

La date du 12 novembre 1799 est célèbre dans l'histoire des météores par une apparition extraordinaire qui a été aperçue en divers points de l'hémisphère nord du globe. La relation laissée par Humboldt qui fut, avec Bonpland, témoin oculaire de ce splendide phénomène, n'a pas peu contribué à fixer l'attention des observateurs sur la période de novembre. Ces deux illustres savants étaient alors à Cumana, dans le Vénézuela (Amérique méridionale): « Entre deux et quatre heures du matin, ils virent à l'orient, sur une bande dont la largeur était d'environ 60 degrés, et qui s'élevait à 50 degrés au-dessus de l'horizon, comme un brillant feu d'artifice tiré à une hauteur immense; de gros bolides ayant parfois un diamètre apparent de une fois et une fois un quart celui de la Lune, puis des étoiles filantes en nombre infini, dont la direction était régulièrement celle du

nord au sud, traversaient incessamment un ciel d'une grande pureté, où étaient tracées de nombreuses et longues bandes phosphorescentes. »

Depuis, la pluie d'étoiles du 12 au 13 novembre continua d'être remarquée, mais avec une intensité beaucoup moindre, jusqu'en 1831, où elle manifesta une recrudescence sensible. Mais, l'année suivante, et surtout en 1833, le phénomène reparut avec un éclat non moins extraordinaire qu'en 1799. « On aperçut, en Amérique, une succession de météores lumineux, semblables à des fusées, et qui rayonnaient d'un point unique pour se porter dans toutes les directions. Ces météores faisaient ordinairement explosion avant de disparaître. Ils laissaient dans leur marche des traînées phosphorescentes rectilignes, lesquelles, dans quelques cas, étaient sinueuses comme un serpent. Plusieurs d'entre eux parurent aussi brillants que Jupiter et que Vénus. » Ces détails, donnés par un observateur de Boston, Olmstedt, sont relatifs à la pluie de météores de la nuit du 12 au 13 novembre 1833, qui fut visible tout le long de la côte orientale de l'Amérique, depuis le golfe du Mexique jusqu'à la Nouvelle-Écosse et jusqu'au Groënland. Elle dura de neuf heures du soir au lever du soleil, et l'on aperçut des météores, en certains endroits, jusqu'à huit heures du matin. D'après Olmstedt, les étoiles étaient si nombreuses, elles se montraient dans tant de régions du ciel à la fois, qu'en essayant de les compter, on ne pouvait guère espérer d'arriver qu'à de grossières approximations. Il les comparait, au moment du maximum, à la moitié du nombre de flocons qu'on aperçoit dans l'air pendant une averse ordinaire de neige. Lorsque le phénomène se fut considérablement affaibli, il compta 650 étoiles en un quart d'heure, quoiqu'il n'observât à la fois qu'une zone égale à la dixième partie de l'horizon visible. Arago, qui rapporte ces détails dans son *Astronomie populaire*, fait observer qu'Olmstedt n'évalue son énumération qu'aux deux tiers des météores réellement aperçus, et il en conclut que pendant les sept heures de la durée du phénomène à Boston, le nombre des étoiles qui défilèrent dépassa 240,000 ! Pendant les années suivantes, le flux météorique de novembre continua à être remarqué en divers points de l'hémisphère septentrional, mais peu à peu il s'affaiblit considérablement, au point que le nombre moyen des étoiles filantes s'abaissa au-dessous de celui des nuits d'octobre.

Olbers, après une étude approfondie des diverses apparitions de novembre qui établissent une périodicité annuelle, à jour fixe, incontestable, crut voir, dans les averses extraordinaires de 1799 et de 1833, l'indice probable d'une période plus étendue dont la durée serait, comme on voit, d'à peu près un tiers de siècle. Il partit de là pour prédire un nouveau maximum dans les nuits du 12 au 14 novembre 1867. Les observations de ces dernières années paraissent devoir confirmer les vues de ce savant observateur. En effet, comme nous venons de le dire, le nombre horaire des étoiles filantes s'abaissa peu à peu à partir de 1833 ; en 1848, il n'était plus que de 110, et en 1858, que de 40 météores ; en 1860 enfin, d'après M. Coulvier-Gravier, il atteignit son minimum. Mais, peu à peu, et principalement depuis 1864, il a repris une marche croissante, qui ne pouvait manquer d'attirer l'attention des astronomes. Le professeur Newton, du collége d'Yale (États-Unis) reprit à nouveau l'étude de la question de la périodicité prédite par Olbers, et il crut pouvoir annoncer pour la nuit du 13 ou celle du 14 novembre 1866 un flux extraordinaire d'étoiles filantes, visible de presque tous les points de la Terre, et qui devait se produire probablement pour la dernière fois dans le siècle actuel. Déjà l'année précédente, le phénomène avait présenté un grand éclat : 280 météores par heure étaient notés à Greenwich de minuit à cinq heures du matin. On les vit seulement après minuit jusqu'au lever du soleil, et c'est entre 1 heure et 2 heures qu'ils parurent en plus grande abondance. Les observateurs étaient donc prévenus, et un grand nombre furent à leurs postes dans les deux nuits du 13 et du 14 novembre de l'année qui vient de finir.

La prédiction du professeur Newton s'est accomplie, et les résultats déjà publiés confirment pleinement ses calculs. En France, en Angleterre, en Italie, en Grèce, en Espagne, en Perse, aux Açores, dans l'Inde, au cap de Bonne-Espérance, le phénomène apparut dans toute sa splendeur, dans la nuit du 13 au 14 (le temps généralement couvert, en Europe du moins, ne permit pas de faire des observations dans la nuit du 12 au 13). Les résultats les plus complets, au point de vue du nombre des météores nous viennent d'Angleterre, où les astronomes, stimulés par les prédictions d'Olbers et de Newton et par les notices du laborieux observateur A. Herschel, avaient concentré toute leur attention et leurs efforts pour cette nuit.

Le 13, dès 9 heures 20 minutes du soir, le docteur Phipson vit le phénomène préluder par l'apparition d'un bolide qui monta directement de l'horizon jusqu'au zénith. Entre 11 heures et minuit, malgré la présence de quelques nuages, il comptait déjà 65 étoiles. Mais à partir de cet instant, le nombre des météores s'accrut avec rapidité ; il s'élevait à 120 en un quart d'heure entre minuit et quart et minuit et demi, après quoi il devint impossible de les compter, tant ils se succédaient rapidement. A partir de une heure du matin, en dix minutes, M. Phipson compta 425 étoiles, et dans le même intervalle de temps, vers deux heures, il n'en notait plus que 198.

A 1 heure 12 minutes, le professeur Symon, qui observait dans une autre partie de Londres, notait 100 étoiles par minute. Du reste, voici les nombres donnés par les astronomes de l'Observatoire de Greenwich, qui observaient simultanément sous la direction de M. James Glaisher et dès lors se trouvaient dans des conditions plus favorables que des observateurs isolés :

De 9 à 10 heures.	10	étoiles.
De 10 à 11 —	15	—
De 11 à 12 —	163	—
De 12 à 1 —	2,032	—
De 1 à 2 —	4,860	—
De 2 à 3 —	832	—
De 3 à 4 —	528	—
De 4 à 5 —	40	—

Sir Thomas Maclear a rendu compte en ces termes de l'observation du phénomène au cap de Bonne-Espérance : « Dans la première partie de la nuit du 13, on vit paraître peu de météores ou d'étoiles filantes. Le 14, à 1 heure 3 min. du matin, le volcan fit éruption avec une grandeur effrayante dans le voisinage de Régulus. Des météores de couleur orange, laissant des traces verdâtres, mélangés avec des étoiles filantes d'un aspect ordinaire, marchaient dans la direction du sud-ouest. La scène défiait toute description ; les projectiles continuèrent à tomber jusqu'au lever du jour, sans que l'on pût apercevoir de changement notable dans ce phénomène extraordinaire. Le nombre total ainsi recensé s'élève à 2,742. »

Ainsi, il n'est pas douteux que le phénomène, sans s'être montré avec la magnificence des deux dates de 1799 et de 1833, a atteint l'année dernière une intensité qui donne raison à Olbers et au pro-

fesseur Newton. Seulement, il reste à savoir si le calcul de ce dernier savant est plus exact que celui de l'astronome de Brême, c'est-à-dire si c'est cette année même, ou bien l'année 1867, qui doit être considérée comme celle du maximum. C'est ce que permettront sans doute de décider les observations prochaines.

Les maximum d'août et de novembre sont les plus remarquables de l'année, mais ce ne sont pas les seuls. Il paraît exister des flux périodiques d'une moindre importance : en janvier, du 2 au 4, en avril, du 9 au 11 et du 18 au 20, mais surtout en juillet, du 26 au 20, en octobre, du 18 au 20, et enfin en décembre, du 5 au 15. Du reste, les dates de ces apparitions singulières sont loin d'être précises comme celles du 10 août et du 12 au 14 novembre. Il est à remarquer que c'est encore dans la portion de l'orbite terrestre comprise entre l'aphélie et le périhélie, du 1er juillet au 1er janvier, qu'ont lieu les apparitions en masse des météores les plus fréquentes et les plus considérables.

III

Un des caractères les plus saillants des essaims d'étoiles filantes, celui qui les distinguait nettement des étoiles sporadiques, c'était la direction de leurs trajectoires. Tandis que les météores isolés semblaient émerger de tous les points du ciel et suivre, dans leur route apparente, des lignes qui se coupent dans tous les sens, les étoiles filantes périodiques paraissaient le plus souvent décrire sur la voûte céleste des courbes ayant un point de rayonnement commun.

Dès 1799, Humboldt remarquait une direction commune dans les nombreux météores qui ont signalé la nuit du 13 novembre. En 1833, 1834, 1837, les observateurs notèrent la constellation du Lion, et spécialement la région environnant l'étoile Gamma, comme le point de départ des essaims du même mois. Au contraire, les étoiles filantes du 10 août ont été reconnues, dès 1839, comme ayant pour point rayonnant commun l'étoile Algol de Persée, ou des régions très-voisines de cette étoile, entre Persée et le Taureau. Depuis, d'autres points de divergence ont été constatés, soit pour une partie des météores qui font leurs apparitions à ces deux époques, soit pour d'autres essaims. Mais un point capital,

sur lequel Olmstedt a insisté avec une grande raison, et que toutes les observations ultérieures ont confirmé, est celui-ci : Le point commun de radiation, d'où les étoiles paraissent émerger, ne change pas pendant toute la durée du phénomène, bien que le mouvement diurne entraîne ce point à des hauteurs diverses au-dessus de l'horizon. Ainsi, il est manifeste que les orbites des étoiles filantes sont complétement indépendantes du mouvement de rotation de la Terre, ce qui revient à dire que l'origine des météores est cosmique et non pas atmosphérique, comme on se l'imaginait encore vers la fin du dernier siècle (ici nous faisons abstraction, bien entendu, des perturbations que la masse de la Terre occasionne évidemment dans leur marche). C'est là un fait qui ne souffre aucune interprétation opposée, et qui prouve sans réplique qu'avant de pénétrer dans notre atmosphère, les étoiles filantes se mouvaient dans les espaces interplanétaires.

Un second point, qui ajoute à l'intérêt de l'observation précédente et en confirme la haute valeur, a été non moins bien établi, dès 1834, par l'astronome Encke. Ce savant, basant ses calculs sur les observations du flux de novembre 1833, faites en Amérique, a fait voir que le point de radiation des météores était précisément celui vers lequel le mouvement de translation entraîne la Terre à l'époque du 13 novembre. La tangente à l'orbite terrestre va couper alors, en effet, le point de la constellation du Lion que nous avons signalé. De même, le point de divergence des essaims d'août, c'est-à-dire la constellation de Persée, est précisément la région du ciel vers laquelle se dirige notre planète à la date du 10 de ce mois.

La conséquence à tirer de cette coïncidence n'est pas douteuse. Les étoiles filantes, qui paraissent diverger, suivent en réalité des routes parallèles, ou du moins à peu près parallèles : leur commune direction est celle de l'élément de l'orbite de la Terre, aux époques de chaque apparition. Pour expliquer leur divergence apparente, il suffit d'invoquer les lois de la perspective, et de rappeler un fait d'observation que chacun peut aisément vérifier. Quand le vent est assez fort pour rendre sensible le mouvement des nuages qui couvrent le ciel, si l'observateur se tourne vers le point de l'horizon d'où vient le vent, il voit les nuées se mouvoir avec des directions en apparence différentes ; en face de lui, elles semblent monter et gagner progressivement le zénith ; de chaque côté, au

contraire, leurs mouvements affectent des directions de plus en plus inclinées avec la première, de sorte que le parallélisme réel se trouve transformé en une divergence apparente.

L'étude du rayonnement des essaims de météores mérite, comme on voit, toute l'attention des observateurs ; aussi a-t-elle été, depuis 1833, et est-elle encore l'objet de leurs recherches assidues. Saigey, en discutant les observations américaines de novembre 1833, a reconnu que le point rayonnant du Lion n'a été constaté qu'après minuit, dans les trois ou quatre heures qui ont précédé l'aurore. Heis a déduit de ses dix années d'observations assidues faites à Aix-la-Chapelle que les trajectoires des étoiles filantes, pendant la période de novembre, sont beaucoup plus dispersées que pendant la période du mois d'août. De plus, outre les centres principaux de rayonnement, il en a reconnu deux autres, l'un dans le Dragon, l'autre dans la Petite-Ourse, pour les étoiles filantes d'août, et les essaims de novembre des années 1839, 1841, 1846 et 1847 lui ont fourni plus du double de météores rayonnants de Persée, que d'étoiles ayant leur centre de divergence dans le Lion. Cette dernière circonstance a été confirmée par les recherches de J. Schmidt, qui écrivait à Humboldt, en juillet 1851 : « Si l'on met à part les grands flux d'étoiles filantes qui se sont produits au mois de novembre des années 1833 et 1834, ainsi que quelques autres du même genre, dans lesquels la constellation du Lion envoyait de véritables essaims de météores, je suis aujourd'hui disposé à considérer le point de convergence placé dans Persée, comme celui qui fournit, non-seulement au mois d'août, mais durant toute l'année, le plus grand nombre de météores. » Il conclut en disant que si certains points de rayonnement sont toujours les mêmes, il en existe aussi d'autres qui sont variables et sporadiques.

Alexandre Herschel, qui s'est beaucoup occupé de la question, a reconnu les centres d'émanation suivants pour les diverses pluies météoriques observées par lui à Hawkhurst pendant les années 1863, 1864 et 1865 :

2— 3 janvier 1864.	entre le Dragon et le Bouvier;
9—11 avril 1864.	l'étoile Delta de la Vierge ;
12—21 avril 1864.	constellation de la Lyre;
9—11 août 1863.	point voisin d'Alpha de Persée ;
18—20 octobre 1864-65. . . .	constellation d'Orion;
12—14 novembre 1865.	point voisin de Gamma du Lion;
11—13 décembre 1868-64. . . .	constellation des Gémeaux.

Plus de cinquante autres points de rayonnement ont été déterminés par le même astronome, comme appartenant à d'autres séries d'étoiles filantes ayant fait leur apparition à des époques diverses de l'année. Il en conclut, comme nous l'avons déjà fait observer plus haut, qu'un petit nombre d'étoiles sporadiques resteront avec le caractère d'isolement qui les a fait jusqu'ici distinguer des chutes périodiques. Le grand maximum de novembre, qu'Olbers avait prédit pour 1867, que le professeur Newton a calculé comme devant se produire dès 1866, et qui s'est montré l'an dernier, pendant la nuit du 13 au 14, avec tant d'éclat, a présenté ce même caractère du parallélisme des trajectoires, accusé par un rayonnement unique dont le centre est la constellation du Lion, qui appartenait aux grandes averses de novembre 1799 et 1833. Sous ce rapport, toutes les relations dont nous avons eu jusqu'ici connaissance s'accordent à reconnaître que la presque unanimité des météores émanait d'un point voisin de l'étoile Gamma du Lion.

A Paris, M. J. Silbermann ; à Marseille, M. Stephan ; divers autres observateurs à Strasbourg, à Dijon, à Toulon, en Italie, le docteur Phipson à Londres, ont tous parfaitement constaté la commune divergence des étoiles filantes de la nuit du 13 au 14, et la position du point de rayonnement dans le Lion. Comme le phénomène a duré plusieurs heures, le mouvement diurne entraînant le centre d'émanation, les étoiles parurent venir d'abord de l'est, puis du sud, pour tourner au sud-ouest.

Ainsi se trouve donc définitivement confirmée l'hypothèse de la nature cosmique des étoiles filantes, et de l'existence de plusieurs anneaux de corpuscules météoriques dont quelques-uns au moins circulent autour du Soleil. La Terre côtoie toute l'année quelques-uns de ces bancs de météores dont elle ne rencontre, en temps ordinaire, que quelques individus isolés : ce sont les étoiles filantes sporadiques. A certaines époques, elle pénètre plus profondément dans les régions les plus denses des anneaux. Alors un plus grand nombre des petits corps dont ils sont composés rencontre notre globe, ou du moins les couches supérieures de son atmosphère, s'enflamment pendant leur rapide passage, et s'éteignent en poursuivant leur route dans les espaces planétaires.

Les pluies extraordinaires des mois d'août et de novembre s'ex-

pliquent par la plus grande densité des anneaux que la Terre traverse en ces deux époques.

Déjà, on a quelques données sur les inclinaisons des orbites parcourues par ces corpuscules ; mais il reste encore un grand nombre de points obscurs à éclaircir dans ce difficile problème d'astronomie. « Par exemple, dit Humboldt, les époques de leurs apparitions éprouvent-elles des variations? Les retards qu'elles subissent proviennent-ils d'une rétrogradation régulière, ou d'un simple déplacement oscillatoire de la ligne des nœuds, c'est-à-dire de la ligne d'intersection de l'orbite terrestre avec le plan de l'anneau? Peut-être ces petits astres sont-ils groupés très-irrégulièrement ; peut-être leurs distances mutuelles sont-elles fort inégales, et leur zone a-t-elle une largeur si considérable qu'il faudrait à la Terre des jours entiers pour la traverser. Supposons que ces anneaux, que nous considérons comme formés des courants périodiques d'étoiles filantes, au lieu d'être homogènes, ne contiennent qu'un petit nombre de parties où les groupes soient assez denses pour donner lieu à une de ces grandes apparitions, et l'on comprendra pourquoi les brillants phénomènes du mois de novembre, en 1799 et en 1833 (on peut ajouter maintenant : en 1866), se reproduisent si rarement. Olbers avait trouvé, dans ses profondes méditations sur ce sujet difficile, quelques raisons d'annoncer, pour l'époque du 12 au 14 novembre 1867, le premier retour de ce grand phénomène, où les étoiles filantes, mêlées de bolides, tombent du ciel comme des flocons de neige. » — La période de retour des étoiles filantes de l'essaim d'août a été déterminée par M. de Littrow ; ce savant astronome a trouvé qu'elle diffère de 20 minutes seulement de l'année tropique, et coïncide, à une minute près, avec la durée de la révolution sidérale de la Terre.

On avait considéré les offuscations de la lumière solaire, rapportées par les historiens, ou récemment observées, et qui se produisent par un ciel serein, comme provenant de l'interposition, entre le Soleil et la Terre, d'un des anneaux météoriques. Mais, après examen, il paraît que cette interprétation du phénomène doit être rejetée. Dans certains cas, l'obscurité momentanée de l'atmosphère était due à des éclipses de Soleil ; dans d'autres, à des brouillards secs, comme l'ont établi divers savants. On a cherché pareillement à rattacher au passage des essaims d'étoiles filantes diverses perturbations de température, les refroidissements périodiques en

février et en mai, ainsi que l'accroissement de chaleur des mois d'août et de novembre. Tout récemment, M. Ch. Sainte-Claire Deville a repris l'étude complète de cette question intéressante, et il faut espérer que ses recherches impartiales et consciencieuses montreront s'il y a un lien réel entre les variations dont il s'agit et les flux de météores [1].

D'après ce qui précède, on voit que la plupart des étoiles filantes appartiennent à des groupes qui se meuvent d'ensemble au sein des espaces planétaires ; on peut les assimiler à de petites nébuleuses formées de corpuscules isolés, distribués plus ou moins régulièrement le long d'anneaux dont les plans coupent sous des inclinaisons diverses l'orbite de la Terre. Les uns paraissent animés de mouvements directs, les autres de mouvements rétrogrades, de sorte que, ayant sur ce point une certaine analogie avec les comètes, tantôt ces essaims marchent dans le même sens que les planètes, tantôt en sens contraire.

On a cherché tout récemment à rattacher d'une façon plus étroite encore les anneaux météoriques aux comètes, et les uns et les autres de ces amas de matière, si différents des corps planétaires et des étoiles, aux nébuleuses diffuses. Le directeur de l'observatoire de Milan, M. Schiapparelli a publié sur ce sujet un mémoire d'un grand intérêt. Ce savant commence par expliquer, dans l'hypothèse cosmique, la variation horaire que M. Coulvier-Gravier a mise en évidence et qu'il oppose comme une objection sérieuse à cette hypothèse. Le nombre des étoiles filantes observées aux différentes heures de la nuit va en croissant d'une manière régulière, du soir jusqu'au matin. Or, M. Schiapparelli explique ce fait très-simplement. « La Terre, dit-il, qui est animée d'un mouvement incomparablement plus rapide que celui des étoiles tombantes, laisse un vide derrière elle, comme ferait un boulet de canon qui traverserait un essaim de moucherons. Dans cette hypothèse, on doit observer des étoiles filantes tant que le point du ciel vers lequel la Terre est dirigée, son *point de mire*, se trouve sur l'horizon de l'observateur ; après quoi, toute apparition du phénomène devra cesser. » Or le point de mire de la Terre, qui varie continuellement dans son mouvement annuel, passe au méridien su-

[1] Voir, à ce sujet, l'analyse que nous avons donnée des recherches de M. Deville, dans l'*Annuaire scientifique pour l'année* 1866.

périeur aux heures du matin (en moyenne vers six heures), et au méridien inférieur (dès lors sous l'horizon) vers six heures du soir. Ces heures varient un peu suivant les saisons. « Si donc tout ce que nous avons dit est vrai, conclut M. Schiapparelli, la plus grande quantité d'étoiles filantes doit s'observer le matin, la plus petite le soir : ce qui s'accorde parfaitement avec les observations de M. Coulvier-Gravier. » Ce savant démontre ensuite que la vitesse moyenne des étoiles filantes est 1,447, celle de la Terre étant prise pour unité ; que cette vitesse est incompatible avec l'hypothèse d'une orbite peu allongée, tandis qu'elle s'accorde parfaitement avec celle d'une orbite parabolique. Examinant alors ce qui doit se passer, quand une nébulosité en mouvement dans les espaces interstellaires vient à pénétrer dans la sphère d'attraction de notre Soleil, il fait voir que, suivant les lois connues de la gravitation, la masse composée d'une multitude de corpuscules isolés se transformera nécessairement, à mesure que sa distance au Soleil ira en diminuant, en un courant parabolique qui peut mettre des années et même des siècles à passer au périhélie. Un grand nombre de ces courants météoriques traversent ainsi le système solaire à toutes les distances et sous toutes les inclinaisons possibles. Mais les planètes de notre système peuvent par leurs actions sur la masse, transformer l'orbite parabolique en orbite elliptique plus ou moins allongée. De là les comètes périodiques. Enfin, il est possible que les perturbations planétaires, en dissolvant la masse en parcelles indépendantes, donnent lieu à la formation d'un anneau plus ou moins continu. Tel est, suivant M. Schiapparelli, l'état actuel du système des étoiles filantes de novembre. « L'orbite qu'elles décrivent coïncide à peu de chose près avec le plan de l'écliptique passant très-près des orbites des planètes supérieures à l'exception de Neptune[1]. La durée

[1] M. Le Verrier a publié, peu de temps après M. Schiapparelli, une note dans laquelle il regarde l'essaim de novembre comme une nébulosité d'origine extra-planétaire, que l'action de la planète Uranus a introduit et jeté dans son orbite actuelle. « Tous les phénomènes observés, dit-il, peuvent être expliqués par la présence d'un essaim globulaire jeté par Uranus en l'année 126 de notre ère dans l'orbite que les observations assignent à l'essaim auquel sont dus de nos jours les astéroïdes de novembre. » Comme M. Schiapparelli, le directeur de l'Observatoire de Paris pense que le phénomène du 11 au 14 novembre ira en s'affaiblissant dans la suite des siècles,

de la révolution est d'un peu plus de 33 ans. La nuée météorique qui décrit cette orbite s'est allongée déjà au point de mettre plusieurs années à passer au périhélie. » L'auteur de cette théorie explique ainsi la période, très-bien établie maintenant, qui ramène tous les 33 ans le flux météorique des 11, 12 et 14 novembre, ainsi que ceux des années précédant et suivant immédiatement l'année du maximum. « Si ce que nous croyons est vrai, dit-il, l'apparition devra devenir moins brillante et plus allongée à chaque tiers de siècle, jusqu'à ce qu'elle soit continue, comme l'est maintenant celle du mois d'août. »

Ce qui donne à cette théorie, dont toutes les idées sont fort heureusement liées, un grand intérêt, c'est la remarquable coïncidence signalée entre les éléments de l'orbite des météores de novembre et ceux de l'orbite de la première comète de 1866 ; et, d'autre part, entre les éléments de la grande comète de 1862 et ceux de l'orbite de l'essaim d'août. Voici ces éléments mis en regard :

ORBITE DE L'ESSAIM DU 10 AOUT, D'APRÈS M. SCHIAPPARELLI.

Passage au périhélie.	10, 15 août.
Longitude du périhélie..	343° 28′
Longitude du nœud ascendant..	128° 16′
Inclinaison..	64° 3′
Distance périhélie..	9° 9643

Mouvement rétrograde.

ORBITE DE LA COMÈTE DE 1862, D'APRÈS M. OPPOLZER.

Passage au périhélie.	22, 9 août.
Longitude du périhélie.	344° 41′
Longitude du nœud ascendant.	137° 27′
Inclinaison.	66° 25′
Distance périhélie.	0° 9626

Mouvement rétrograde.

Voici maintenant les éléments relatifs à l'essaim de novembre et à la comète de Tempel :

soit parce que les corpuscules se répartiront sur un arc de l'orbite de plus en plus grand, soit parce que la Terre en déviera un plus grand nombre à chaque apparition.

ESSAIM DE NOVEMBRE.

Durée de la révolution..	33 ans 25
Demi grand axe.	10° 340
Excentricité.	0° 9046
Distance périhélie..	0° 98730
Inclinaison de l'orbite..	17° 44′
Longitude du nœud ascendant.	231° 28′
Longitude du périhélie.	56° 25′

Mouvement rétrograde.

COMÈTE DE TEMPEL (I DE 1866).

Durée de la révolution.	33 ans 176
Demi grand axe..	10° 324
Excentricité..	0° 9054
Distance périhélie.	0° 9765
Inclinaison.	17° 18′
Longitude du nœud ascendant.	231° 26′
Longitude du périhélie.	60° 28′

Mouvement rétrogade.

La similitude de ces deux groupes d'éléments est si frappante que l'idée de considérer les deux nébulosités cométaires comme ayant la même origine que les essaims d'étoiles filantes d'août et de novembre s'impose tout naturellement à l'esprit. Nous croyons néanmoins qu'avant de se prononcer entre les diverses hypothèses émises, il faut attendre que les observations ultérieures aient apporté les éléments d'une appréciation plus rigoureuse ; il faut surtout que les contradictions qui existent encore entre l'une ou l'autre de ces hypothèses et quelques-uns des faits recueillis, quand on les interprète au point de vue de chacune d'elles, aient décidément disparu, ou, ce qui revient au même, soient résolues par une théorie nouvelle et plus compréhensive.

Nous sommes loin, dans cette notice, d'avoir épuisé, disons même d'avoir ébauché toutes les questions que soulève ce point intéressant d'astronomie physique. Nous aurions à dire, pour cela, ce qu'on sait de leur constitution physique, à donner, avec plus d'étendue, un résumé des observations qu'on a faites sur leur éclat apparent, leurs couleurs, les hauteurs diverses calculées au moment de leurs apparitions et à celui de leurs extinctions, la vitesse relative de leurs mouvements, éléments précieux qui, tous, jettent

un grand jour sur la constitution des anneaux, et, par conséquent, sur la composition de notre monde solaire. Nous aurions à passer en revue les diverses hypothèses que ces observations ont suggérées, les conséquences qu'on a cru devoir en tirer sur la hauteur limite de l'atmosphère terrestre, sur la cause de l'inflammation subite des étoiles filantes, que les uns persistent à attribuer au frottement intense résultant de la vitesse planétaire avec laquelle elles se meuvent, tandis que d'autres regardent cette ignition spontanée comme un effet de l'électricité développée par influence.

Il y a là tout un programme d'une étude spéciale qui nous entraînerait trop loin, et sortirait d'ailleurs du sujet précis que nous avions en vue, qui était d'interpréter la brillante apparition d'étoiles filantes du mois de novembre de l'année 1866. Les lecteurs de l'*Annuaire* trouveront d'ailleurs, dans le volume de l'année 1863, une étude intéressante de notre collaborateur Fonvielle, sur les rapports qui existent entre les étoiles filantes proprement dites, et les aérolithes ou pierres tombées du ciel.

AMÉDÉE GUILLEMIN.

II

LES VOLCANS LUNAIRES

I

APERÇU SUR LA CONSTITUTION GÉOLOGIQUE DE LA LUNE.

C'est une opinion assez généralement répandue que la Lune est un monde éteint, une terre morte, en un mot, un cadavre de planète. Les raisons sur lesquelles on se fonde pour soutenir cette thèse, ne laissent pas que d'être plausibles : la privation d'atmosphère, l'absence d'eau à la surface de ce globe couvert de déjections volcaniques, y rendent bien invraisemblable l'existence d'êtres organisés ; et là, où toute vie manque, végétale et animale, où les phénomènes de mouvement sont exclusivement dus à des actions purement mécaniques, on conçoit la tendance

qui pousse l'esprit à prononcer contre notre satellite l'arrêt de mort que la nature semble avoir exécuté d'une façon si complète en tous les points de sa surface.

A dire vrai, ce n'est là qu'une métaphore. Les corps célestes ont bien pu être considérés par quelques philosophes comme des êtres doués d'une individualité et d'une vie propres ; mais c'est en forçant le sens, la signification habituelle des mots, en généralisant à outrance les conditions que l'expérience a fait regarder de tout temps comme nécessaires à la manifestation de la vie, qu'on a pu appliquer aux soleils, aux planètes et à leurs satellites, les idées de naissance, de développement, de vie, de décroissance et de mort, jusqu'ici réservées aux seuls êtres organisés. Il y a sans doute, nous ne faisons aucune difficulté à le reconnaître, une certaine analogie entre les phases de l'existence des astres, telles que l'induction nous a permis de les entrevoir, et celles de l'existence des êtres vivants. S'il est vrai que, dans chaque système, une sorte d'état chaotique a précédé les transformations ultérieures, si chaque monde a puisé les éléments dont il se compose, dans une nébulosité primitive diffuse, on peut certainement regarder les premières concentrations de cette matière comme marquant la première phase, l'embryon de chaque corps céleste. Devenu un astre distinct de la masse générale d'où il s'est peu à peu séparé, sa forme s'est accentuée de plus en plus, à mesure que tendaient à prédominer les forces attractives : il passe enfin à l'état de soleil, rayonnant dans l'espace la lumière et la chaleur dégagées pendant la première phase : ce sera, si l'on veut, la jeunesse de l'astre, dont la durée, qui peut s'évaluer par millions d'années, dépend sans doute en grande partie de la masse ainsi accumulée. Mais c'est aujourd'hui un axiome de mécanique et de physique, que la quantité de mouvement emmagasinée, pour ainsi dire, dans un corps est limitée, que si la dépense est faite sous forme de chaleur et de lumière, la température s'abaisse, ainsi que son pouvoir lumineux, et qu'une époque doit arriver où, cette double provision se trouvant épuisée, l'astre doit s'éteindre, puis se mettre en équilibre de température avec l'espace environnant, ou du moins ne posséder comme excès de chaleur sur cet espace que celle que rayonnent vers lui un ou plusieurs autres soleils.

La vieille expression de soleil encroûté s'appliquerait donc, d'après cette hypothèse, aux astres qui, comme la Terre et les

autres planètes, ont vu leur surface se refroidir jusqu'à une certaine profondeur, qui ne sont plus lumineux par eux-mêmes, et dès lors ne restent visibles dans l'espace que par la lumière du Soleil réfléchie par un de leurs hémisphères. Il y a gros à parier, malgré tout ce qu'on a pu dire de la constitution physique du Soleil et de son habitabilité, que ce n'est point au sein d'une atmosphère dont l'incandescence est telle que les métaux s'y trouvent volatilisés, que peuvent naître et se développer les organismes : les ondes calorifiques et lumineuses qui émanent de tels foyers vont au loin féconder les germes de vie, mais la source même de ces actions mystérieuses ne porte point la vie.

Si l'épanouissement de la vie à la surface d'un astre est le signe de son âge viril ou de sa maturité, la Terre — il en est sans doute de même de plusieurs autres planètes du monde solaire — est sortie de sa phase d'adolescence que caractérisent alors les premières périodes géologiques. Sa force génératrice s'est essayée, et progressivement s'est développée jusqu'à produire les flores et les faunes actuelles qui, peut-être, feront suite à des séries plus parfaites, à des formes organisées plus complètes et plus compliquées. Il paraît aujourd'hui certain que des transformations de ce genre coïncident avec des révolutions qui modifient profondément les milieux, l'atmosphère, le sol et les eaux. Le mode d'action de ces causes puissantes peut d'ailleurs être indifféremment conçu, soit comme un cataclysme, comme une crise violente et soudaine, soit comme une lente mais non moins irrésistible évolution. De périodes en périodes, on comprend aussi qu'après avoir atteint le maximum de fécondité, la somme de vie que la planète a fini par voir se développer à la surface, après être restée quelque temps stationnaire, ira peu à peu en perdant de son intensité. Le Soleil, la source en apparence inépuisable, où cette quantité de vie s'est d'abord sans cesse renouvelée, s'éteindra sans doute graduellement ; ses ondulations de lumière et de chaleur diminuant peu à peu d'amplitude, arriveront un jour à n'avoir plus l'énergie nécessaire pour l'entretien des êtres organisés qui vivent à la surface des planètes : la vie périra alors dans sa source même, au sein du moins de notre monde planétaire.

Mais avant d'en arriver là, n'est-il pas possible que les conditions de l'existence des êtres organisés fassent défaut à quelques-uns des corps qui gravitent autour du Soleil ? N'est-il pas admis-

sible que la lumière et la chaleur solaire soient impuissantes à entretenir la vie, par l'absence même de quelque autre élément indispensable, qui viendrait à disparaître à la surface de la planète? Que l'air, par l'exemple, perde la proportion d'oxygène nécessaire à la respiration ; que l'eau, dont les mers sont formées, diminue de volume et finisse par disparaître, absorbée par les roches dont l'épaisseur va en croissant, à mesure que, par le refroidissement, se consolide une masse plus considérable du noyau terrestre; et végétaux, animaux disparaîtront de la surface du globe. L'âge de la décrépitude aura sonné; la planète vieillie, tour à tour brûlée pendant le jour et glacée pendant la nuit, continuera à rouler dans l'espace, mais privée de sa verdoyante parure de végétaux et de ses innombrables habitants.

Telle est aujourd'hui la Lune selon l'hypothèse que nous mentionnions au début de cet article. Telle sera la Terre, mais au bout d'une période dont la longueur se mesurera peut-être par millions d'années, de sorte que, de longtemps, les générations futures n'auront point à se préoccuper de ce lointain avenir. Hâtons-nous d'ailleurs de dire que les conjectures, dont nous venons de donner une idée sommaire, ne sont pas basées sur des calculs assez précis, sur des faits assez certains pour mériter d'être admises dans la science sans critique et sans examen. On connaît assez bien, à l'heure qu'il est, la constitution physique actuelle de notre satellite; mais en est-il de même de son passé, de l'histoire de sa formation et de ses développements successifs? Non, sans doute, et il est probable que le temps est encore éloigné où la géologie lunaire pourra être établie sur des bases assez solides pour permettre une comparaison un peu sérieuse avec la géologie de notre globe.

Il est depuis longtemps démontré que la Lune n'est pas entourée d'une atmosphère gazeuse. Les observations d'occultations d'étoiles prouvent du moins que si cette atmosphère existe, elle est d'une rareté extrême. Mais comme ce genre de preuves n'est concluant que pour une altitude qui dépasse celle des hautes montagnes lunaires, on pouvait douter encore : on pouvait se demander si les profondes cavités des cratères, si les dépressions considérables du sol de la Lune en certains points, ne recélaient pas une atmosphère plus dense, confinée ainsi à quelques centaines de mètres au-dessus du sol des plaines et des cirques. Rien

ne contredit absolument cette supposition, qu'aucune observation d'ailleurs ne légitime non plus ; mais ce qu'on peut dire aujourd'hui, c'est que cette atmosphère, si elle existe, se compose de substances qui sont absolument sans action sur le spectre de la lumière solaire. Voici ce que dit à cet égard M. William Huggins :

« Lorsqu'on fait l'observation du spectre d'une étoile, un peu avant ou au moment de son occultation par le bord sombre de la Lune, on pourrait essayer de saisir quelques phénomènes caractéristiques du passage de la lumière de l'étoile à travers une atmosphère. S'il existe une atmosphère lunaire qui puisse, soit par les substances dont elle est formée, soit par les vapeurs qu'elle tient en dissolution, exercer une absorption élective sur la lumière de l'étoile, cette absorption devrait être indiquée par l'apparition, dans les spectres, de nouvelles raies sombres, immédiatement avant son occultation par la Lune.

« Si de la matière finement divisée, aqueuse ou autre, est présente autour de la Lune, les raies rouges devraient être un peu moins affaiblies que les raies de réfrangibilité plus élevée. S'il y a autour de la Lune une atmosphère libre de toute vapeur et sans pouvoir absorbant, mais suffisamment dense, le spectre ne sera pas éteint au même instant sur toute sa longueur. Les rayons violets et bleus subsisteraient après la disparition des raies rouges. J'ai observé avec le plus grand soin la disparition du spectre de l'étoile Σ des Poissons, lors de son occultation, le 4 janvier 1865, dans le but de surveiller ces divers phénomènes, mais je n'ai découvert aucun signe d'atmosphère lunaire. » (*Analyse spectrale des corps célestes.*)

L'absence d'air implique l'absence d'eau. Une masse d'eau quelconque s'évaporerait, en effet, sous l'action des rayons solaires, et même en dehors de cette action, avec une facilité d'autant plus grande qu'elle ne serait pas contre-balancée par la pression atmosphérique. D'ailleurs tout le monde sait qu'on n'aperçoit sur le disque, toujours parfaitement net de l'astre, aucune tache temporaire et mobile, indiquant l'interposition de nuages.

Mais s'il n'existe actuellement à la surface de la Lune, ni enveloppe gazeuse, ni masses liquides, sans lesquelles il nous est impossible de concevoir la présence d'êtres organisés, cela veut-il dire qu'il n'y en a jamais eu, cela permet-il d'affirmer qu'il n'y en aura jamais? Pour répondre avec quelque apparence de

présomption à l'une ou à l'autre de ces questions, il faudrait connaître le mode de formation qui a présidé à la constitution du sol lunaire, tel que le télescope nous le fait voir aujourd'hui ; il faudrait savoir de plus si ce sol a décidément atteint un état d'équilibre stable et définitif, s'il n'est point sujet à des changements, à des révolutions susceptibles de modifier à la longue les conditions des milieux, de façon à les rendre favorables à l'apparition et à l'entretien de la vie.

Ce qui est hors de doute depuis longtemps, c'est que la majorité des accidents du sol lunaire ont une origine volcanique. La forme circulaire de ses montagnes, depuis les plus petits cratères, jusqu'aux grands cirques, et même aux immenses circonvallations qu'on nomme si improprement les mers de la Lune, montre assez que la formation de ces aspérités est due à une réaction des forces internes contre l'écorce extérieure. Il est impossible de ne pas admettre pour ce globe un état de fluidité primitive, auquel a succédé la constitution d'une écorce solide, d'abord peu résistante, puis plus épaisse à mesure que le refroidissement gagnait des couches plus profondes. Comme, à l'origine, cette écorce n'avait point encore été bouleversée, elle devait présenter en tous ses points à peu près la même homogénéité et la même épaisseur : la force expansive des gaz intérieurs agissant alors perpendiculairement à l'enveloppe et suivant les lignes de moindre résistance, dut briser cette enveloppe et produire ainsi des soulèvements de forme circulaire. C'est à cette première période qu'il faut certainement rapporter la formation des immenses circonvallations dont l'intérieur est aujourd'hui occupé par les plaines appelées *mers*.

Les soulèvements subséquents, soit qu'ils provinssent des forces élastiques d'une moindre énergie, soit que la croûte du globe lunaire eût acquis une épaisseur et une résistance plus considérables, donnèrent lieu aux grands cirques, tels que Shickardt, Grimaldi, Clavius. Enfin apparurent une foule de cavités de dimensions moyennes, dont un certain nombre se montrèrent au sein même des circonvallations primitives.

Ainsi, jusqu'à un certain point, si les hypothèses qui procèdent ne sont pas dénuées de vraisemblance, les dimensions des montagnes annulaires de la Lune permettent d'indiquer leur âge relatif, les plus grandes étant les plus anciennes, les plus petites

celles dont l'apparition serait la plus récente. Ce premier aperçu sur les périodes par lesquelles a dû passer le sol lunaire, se trouve d'ailleurs confirmé par des considérations d'un autre ordre, dues à un astronome français contemporain, M. Chacornac. D'après ce savant, familiarisé avec les études sélénologiques, il y a lieu de faire une distinction essentielle entre les deux natures du sol qui caractérisent la surface de la Lune. Cette distinction est faite depuis longtemps au point de vue des apparences, et tous ceux qui ont observé le disque de l'astre savent que la partie montagneuse, celle où se trouvent les cratères et les cirques les plus nombreux, n'a pas le même aspect que les parties constituant les plaines ou mers lunaires. Mais cette différence tient-elle à une différence de nature et d'origine? Telle est la question à laquelle M. Chacornac répond de la façon suivante : « Le sol en relief, dit-il, désigné, dès l'origine des observations, comme étant le sol continental, a surtout été admis comme tel par les observateurs modernes, par suite de son analogie avec les continents terrestres. En effet, sa structure poreuse, son grand pouvoir réflecteur, et surtout son élévation au-dessus des plaines, l'ont fait distinguer nettement du sol nivelé, dont la couleur sombre, la surface lisse, lui donnent toutes les apparences de plaines d'alluvion, suivant les expressions de sir J. Herschel [1]. » Mais il ne faut pas attacher à ce mot d'*alluvion* sa signification usuelle et terrestre. Les dépôts sédimentaires qui forment les plaines de la Lune ne sont pas de même nature que ceux laissés par le retrait des eaux, à la surface de notre globe. Suivant M. Chacornac, à la première période primitive, celle où ont apparu les plus grandes circonvallations lunaires, a succédé une sorte de diluvium général ou d'épanchement boueux. « Cet épanchement aurait enseveli sous une masse brune plus des deux tiers de la surface visible de la Lune, le fond de tous les grands cratères, en s'étalant, d'une extrémité à l'autre, sensiblement sur un même niveau. »

Ce qui donne à cette hypothèse un grand degré de vraisemblance, c'est la différence caractéristique signalée par le savant astronome entre la structure des divers cratères, dont les uns présentent une excavation de forme régulièrement elliptique,

[1] *Sur les apparences de la surface lunaire*, par M. J. Chacornac.

tandis que les autres ont un fond plat, de niveau avec le sol des vallées environnantes. Or, les remparts ou enceintes des premiers cratères sont intacts, tandis que les autres ont leurs bords ébréchés et en partie démolis, et, de plus, se trouvent ordinairement situés sur le bord des plaines envahies par le diluvium. Quelques-uns paraissent enfouis presque complétement, et l'on n'aperçoit plus que quelques vestiges de leurs remparts.

A quelle cause, maintenant, faut-il attribuer l'épanchement de ce diluvium ? Suivant M. Chacornac, c'est à la précipitation des gaz non permanents qui constituaient autrefois l'atmosphère lunaire. « On comprend en effet, dit-il, que notre satellite étant parvenu à un certain degré de refroidissement, la pression atmosphérique favorisât la précipitation des gaz et des vapeurs qui se répandirent sous forme de pluie sur tous les points de la surface, et comblèrent ainsi les grands cratères formés de toutes parts, tandis que ceux de l'époque postérieure à la consolidation de ces fluides, sont complétement à l'abri de tout dépôt sédimentaire. »

Si l'on adopte cette explication, il faut supposer que la Lune a été, à l'origine, entourée d'une atmosphère ; il faut admettre que cette atmosphère primitive ait exercé une pression suffisante pour produire la précipitation des gaz non permanents ou de la vapeur aqueuse qu'elle contenait. Mais cette vapeur condensée, puis mélangée aux parties solides du sol qu'elle délaye en masses boueuses, qu'est-elle devenue ? La seule influence de la chaleur solaire ne devait-elle pas, par la suite, dessécher ces boues dont le sol des plaines est formé, c'est-à-dire réduire de nouveau l'eau en vapeur, reconstituant ainsi indéfiniment l'enveloppe vaporeuse de la Lune ? Il faudrait enfin supposer que les gaz permanents composant l'atmosphère primitive ont eux-mêmes disparu peut-être, en se combinant chimiquement, sous l'influence de la chaleur solaire, avec les roches de nature très-oxydable du sol.

Ces objections nous semblent assez sérieuses pour qu'il y ait lieu de rester sur la réserve relativement à l'hypothèse qui sert à M. Chacornac pour expliquer l'origine du diluvium qui envahit les plaines et les anfractuosités des cirques lunaires. Mais ce qui paraît bien établi, ce qui repose sur des observations, non sur des vues hypothétiques, c'est le classement des cavités cratériformes d'après l'âge relatif de leurs formations : la distinction

entre les circonvallations primitives, entre les cratères à fonds elliptiques et à rebords intacts, et les cratères à fonds plats et à remparts ébréchés, suffit pour justifier ce classement, dont nous avons vu qu'il est aisé de se rendre compte *a priori*.

Quant à l'épanchement que M. Chacornac qualifie de *boueux*, pour exprimer sans doute la facilité avec laquelle il a rempli les cavités et s'est moulé sur leurs contours, nous préférerions l'assimiler aux coulées de laves qui, après la période primitive, se seraient répandues partout où le niveau de la surface se trouvait inférieur à celui du noyau pâteux. Quand nous disons coulées de laves, c'est plutôt pour qualifier la nature de la substance que le mode de mouvement des masses liquides. La raison de cette préférence, c'est que, tout en expliquant aussi naturellement cet épanchement, on échappe à la difficulté que nous avons signalée, et qui consiste à savoir ce que serait devenue l'immense quantité d'eau qui aurait servi à former, par son mélange avec les matières solides, les masses pâteuses ou boueuses dont il s'agit. Si l'épanchement est formé de matières semblables au noyau fluide ou pâteux de notre satellite, analogues à celles des coulées liquides de nos volcans, la difficulté disparaît. C'est alors par le refroidissement que produit le rayonnement dans l'espace, que se seraient solidifiées les plaines lunaires.

II

CONTINUITÉ DE L'ACTION ÉRUPTIVE A LA SURFACE DE LA LUNE.

C'est une question fort intéressante que de savoir si, parmi les innombrables cratères dont la surface de la Lune est criblée, il en est encore qui possèdent leur activité éruptive. Si l'on se reporte à la distinction que nous avons faite plus haut entre les grandes circonvallations lunaires, les cirques et les cratères proprement dits, on comprendra que c'est pour ceux-ci seulement que la question peut être posée; la permanence des formes des grands cirques, depuis l'époque, à la vérité fort peu éloignée, où les lunettes ont permis une investigation détaillée des aspérités lunaires, vient se joindre aux considérations sur leur ancienneté relative, dont il vient d'être question plus haut, pour rejeter toute pro-

babilité d'une activité volcanique particulière à ces formations primitives.

Les premiers observateurs ont cru à l'existence des volcans lunaires en ignition. Hevelius soupçonnait Aristarque d'être une espèce de volcan embrasé : aussi l'appelait-il *Mons porphyrites*. Le grand éclat de ce cratère qui le distingue de tous les autres et permet de l'apercevoir aisément, alors même qu'il est complétement plongé dans l'ombre, sa couleur rouge prononcée dans les éclipses de Lune, avait suggéré au célèbre astronome cette hypothèse aujourd'hui complétement abandonnée. Il ne fut pas le seul du reste qui crut à l'existence des volcans en ignition. D'autres points brillants furent aperçus à diverses époques sur la région obscure du disque lunaire : d'Ulloa, Bianchini, Short, Herschel avaient observé de ces points qui, tout d'abord, firent croire, à la permanence de l'activité éruptive. Des observations ultérieures expliquèrent quelques-unes de ces apparences, qui tiennent évidemment au grand pouvoir réflecteur des matières dont le sol de la Lune se trouve composé dans ces diverses régions. C'est ainsi qu'on explique aujourd'hui l'intensité lumineuse de plusieurs montagnes lunaires, telles que Proclus, Aristarque, etc. Quant à la teinte rougeâtre dont se colore ce dernier cratère pendant les éclipses, elle est évidemment due à la réfraction de la lumière solaire dans l'atmosphère terrestre.

On ne croit donc plus à l'existence des volcans enflammés dont la lumière serait visible de la Terre, « Toutefois, disions-nous dans notre monographie de la *Lune*, si la question de la visibilité de volcans en ignition nous paraît tranchée aujourd'hui dans le sens de la négative, il n'en est pas de même de la continuité des actions éruptives à la surface de la Lune. » Et, pour justifier cette opinion, après avoir rappelé les conclusions négatives de Beer et de Mædler, nous citions quelques observations de deux astronomes anglais, MM. Webb et Birt, qui se sont efforcés de rassembler tous les faits favorables à cette continuité : « Par exemple, en examinant le cratère Marius et ses environs, situé au milieu de l'Océan des Tempêtes, ces deux observateurs ont découvert deux petits cratères, que Beer et Mædler n'avaient point remarqués. De même, en comparant les dessins de Cichus, donnés par Schrœter, et plus tard par Beer et Mædler, il leur paraît évident que les différences qu'offrent les dimensions d'un cratère plus petit, situé

sur les remparts de Cichus, sont dues à des changements réels survenus depuis 1792, époque où Schrœter observait. »

Voici maintenant un passage significatif emprunté à l'ouvrage que M. Webb publiait, il y a quelques années, sous ce titre : *Celestial objects for common telescopes* : « *Messier*, couple de cratères petits et profonds, présentés, au temps de Beer et Mædler, comme un curieux exemple d'égalité de diamètre, de forme, de profondeur, d'éclat, ne sont pas moins remarquables par la similitude de position de leurs pics sur leurs cirques, qu'il faut considérer ou comme une merveilleuse coïncidence ou comme le résultat d'une même cause naturelle inconnue. Je n'ai pu jusqu'ici obtenir une vue entièrement satisfaisante de ces cratères avec un pouvoir optique suffisant, mais je crois pouvoir dire avec certitude que leur similitude n'existe plus, et que nous avons en ce point une preuve évidente et décisive de l'*action éruptive moderne*. Deux curieuses lignes blanches, légèrement divergentes, s'étendent depuis le cratère oriental jusqu'à une grande distance à l'est, formant avec la teinte sombre située entre elles l'image d'une queue de comète. Gruithuysen, qui supposa que c'étaient des constructions artificielles, établit qu'elles sont composées d'une multitude de lignes parallèles. Avertis par une observation de Schrœter, qui découvrit cette *comète*, Beer et Mædler eurent l'heureuse idée d'examiner ces taches dans l'espoir d'y constater quelques variations; ils les observèrent *plus de trois cents fois*, depuis 1829 jusqu'à 1837, sans reconnaître aucun changement. Le 14 novembre 1855, je reconnus, avec mon objectif achromatique de 5 pouces et demi, que le cratère oriental paraissait le plus grand des deux. Le 11 mars 1856, je trouvai le cratère occidental, non-seulement le plus petit, mais allongé sensiblement dans la direction de l'est à l'ouest. J'ai noté depuis la même dissemblance avec un plus faible comme avec deux plus forts instruments, bien que je n'aie jamais eu une visibilité réellement nette. Depuis le 8 février 1859, avec un objectif de 5 pouces et demi, du célèbre Alvan Clark, je crus le cratère occidental beaucoup plus profond que l'oriental. » M. Webb donne un dessin qui met en évidence les différences qu'il vient de signaler. Nous l'avons reproduit dans notre ouvrage sur la *Lune*, en y joignant le fragment de la grande carte de Mædler qui contient les deux mêmes cratères jumeaux.

Des faits de ce genre, sans être entièrement concluants, don-

naient un grand intérêt à la question en litige. Aussi les observateurs sélénologistes redoublèrent-ils d'attention, et il se forma en Angleterre un comité spécial (*Lunar committee*) chargé d'élucider tous les faits ayant un rapport quelconque avec le problème, et notamment de procéder à la construction d'une carte nouvelle de la Lune, dont toutes les parties seraient, dans leurs plus minutieux détails, comparées aux régions représentées dans les cartes antérieures.

Les choses en étaient là, quand, le 17 novembre de l'année dernière, le directeur de l'Observatoire d'Athènes, M. Julius Schmidt, écrivait à M. Birt, l'un des deux astronomes que nous venons de citer, les lignes suivantes : « Depuis quelque temps, j'ai observé qu'un cratère lunaire, situé dans la *Mer de la Sérénité*, n'est plus visible. Ce cratère, qui porte le nom de Linné sur la carte de Mædler, est désigné par la lettre A sur la carte de Lohrmann. Je le connais depuis 1841, et même pendant la pleine Lune, il n'était pas difficile à distinguer. En octobre et novembre, à l'époque la plus favorable pour son observation, c'est-à-dire un jour avant le lever du Soleil à son horizon, il avait entièrement disparu ; seulement, une petite tache blanchâtre se voyait à sa place. » Ayant continué les observations jusqu'au 25 janvier 1867, cet astronome ne put jamais découvrir, sous les incidences les plus avantageuses de la lumière solaire, aucune apparence du cratère antérieur ; et cependant il apercevait très-nettement des cratères bien plus petits dans le voisinage.

Voici maintenant ce qu'écrivait le P. Secchi à l'Académie des sciences, à la date du 14 février 1867 : « Les journaux se sont beaucoup occupés de la disparition du cratère lunaire Linné, disparition signalée par M. Schmidt. J'ai profité, pour l'étudier, des deux dernières soirées, qui ont été assez belles, et voici les résultats que j'ai obtenus. Le soir du 10, entre neuf et dix heures, le cratère entrait dans la lumière du Soleil, et l'on voyait près *du cercle limite un petit point* proéminent avec une petite ombre, et autour de ce point une couronne irrégulièrement circulaire, très-aplatie. Le 11 au soir, Linné était déjà assez avancé dans la lumière, et à sept heures, on voyait nettement un très-petit cratère, environné d'une éclatante auréole blanche, qui brillait franchement sur le fond sombre de *Mare Serenitatis*. La grandeur de l'orifice du cratère était d'un tiers de seconde au plus,

et l'auréole était un peu plus large que *Sulpicius Gallus* (cratère situé au sud de Linné, sur les bords de la mer de la Sérénité). J'insiste sur cette comparaison, car elle fait voir que MM. Beer et Mædler, dont j'employais la belle carte, n'auraient jamais figuré un cratère aussi grand et aussi bien fait que celui qu'ils assignent à *Linné*, pour une tache blanche comme celle qui existe à présent. En effet, *Sulpicius Gallus* est actuellement beaucoup plus grand que le petit cratère qui forme le centre de la tache.... On ne peut donc douter qu'il y ait eu un changement, et il paraît probable qu'une éruption a rempli l'ancien cratère d'une matière assez blanche pour paraître beaucoup plus claire que le fond de la mer qui l'environne. »

Des observations du cratère Linné, faites par M. Wolf, à l'Observatoire de Paris[1], et par l'astronome anglais Williams Huggins[2], ont apporté de nouveaux éléments à la discussion qui s'est élevée à ce sujet. Ces deux savants s'accordent à reconnaître que le cratère n'a pas complétement disparu, ce qui résulte aussi des observations du P. Secchi. En usant de pouvoirs optiques considérables, et dans d'excellentes conditions de pureté de l'atmosphère, ils ont aperçu l'un et l'autre, au centre de la tache blanche signalée, un petit trou noir et rond, bordé du côté occidental par un secteur lumineux qui indique en ce point une élévation supérieure.

Voici l'observation de M. Wolf : « Dès le 10 mai, dit-il, j'ai pu reconnaître que le cratère de Linné existe toujours, mais avec un diamètre beaucoup moindre que celui du cratère indiqué sur les cartes de Lohrmann et de Beer et Mædler. Au centre de la tache blanche, on voit un trou noir circulaire, bordé du côté ouest par une portion de terrain qui semble proéminer sur le reste de la tache. Cette légère surélévation a déjà été signalée par M. Schmidt... Le 10 juin, à 8 heures, Linné étant déjà en pleine lumière depuis près de 48 heures, le trou central se voyait avec une netteté parfaite. C'est un cratère profond, plus profond que la plupart de ceux qui l'environnent, si l'on en juge par l'intensité comparative de l'ombre. »

D'après M. Huggins, qui a observé Linné le 11 mai 1867, le

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, du 17 juin 1867.

[2] *Monthly notices of the Royal astronomical Society*, vol. XXVII, n° 8. Juin 1867.

cratère présentait à cette date l'aspect d'une tache blanche sur le fond plus sombre de la Mer de la Sérénité, mais on n'y voyait aucun détail distinct, tandis que les petits cratères du voisinage étaient vus avec une grande netteté. « Le 8 juillet, dit-il, ayant écarté, à l'aide d'un prisme de Nicol, une grande partie de la lumière réfléchie par notre atmosphère, j'ai observé une ombre sur le bord occidental du cratère. Près du centre de la tache blanche, mais plutôt du côté ouvert, on voyait le petit cratère, dont l'intérieur était dans l'ombre, à l'exception d'une petite partie du côté oriental. Le bord était plus brillant sur le flanc occidental, et ce point semble être élevé au-dessus de la surface de Linné. « Sous une illumination très-oblique, dit M. Huggins, le rempart élevé qui borde le cratère à l'ouest apparaît comme une éminence brillante et projette une ombre qui est quelque peu en forme de pointe. » Cette dernière remarque s'accorde parfaitement, comme on voit, avec l'observation de M. Wolf.

En résumé, si l'on consulte le texte et les cartes de la région où se trouve le cratère Linné, tels que nous les ont laissés les anciens observateurs, Lahire, Schrœter, et les astronomes contemporains Beer et Mædler, on est amené à croire que l'apparence présentée par l'ancien cratère différait notablement de celle que les deux derniers observateurs cités ont représentée dans leur belle carte *Mappa selenographica*, d'où la conséquence qu'un cratère beaucoup plus large que celui qu'on observe aujourd'hui aurait fait son apparition dans l'intervalle de moins d'un siècle. D'autre part, les observations de J. Schmidt, faites à vingt-cinq ans de distance, 1841 à 1866, ne permettent pas de douter qu'une transformation nouvelle a rétabli à peu de chose près l'état primitif, puisqu'on voit maintenant la tache blanche, à peu près telle que Schrœter l'a représentée dans son grand ouvrage *Selenotopographische Fragmente*.

M. Wolf fait remarquer toutefois, que la comparaison des apparences actuelles de Linné avec le texte des descriptions laissées par Lohrmann et ses successeurs, laisserait croire, à la rigueur, que le cratère n'a pas éprouvé de changement. Mais il n'en est plus de même si l'on compare la forme actuelle avec celle donnée par les cartes.

Le même observateur, en consultant les belles photographies lunaires obtenues par Warren de la Rue en 1858, a remarqué que

Linné s'y trouve figuré par une tache blanche. Il en est de même dans la reproduction agrandie de la très-belle épreuve de la Lune que M. Rutherfurt a obtenue en mars 1865. « La disparition du grand cratère de Linné, ajoute-t-il, remonterait donc au moins à 1858, s'il ne faut pas la faire remonter jusqu'à Lahire. » Cette conclusion nous paraît on ne peut plus rigoureuse, si l'on en fait disparaître la réserve indiquée par le dernier membre de phrase. Il est impossible, en effet, de regarder comme non avenues les observations de Beer et Mædler, ainsi que celles de J. Schmidt en 1841 et 1845. Or, ces observations prouvent évidemment qu'un cratère de dimensions relativement grandes existait à ces dernières époques, là où l'on ne voit plus qu'un très-petit cratère entouré d'une large tache blanche. Pour expliquer cette double transformation, il n'y a, selon nous, qu'une hypothèse légitime : c'est que Linné a subi deux changements en sens inverse.

M. Élie de Beaumont a fait remarquer que « si des observateurs placés dans la Lune regardaient le Vésuve ou l'Etna, avant et après une éruption, ils ne pourraient y remarquer que de très-légers changements. Une éruption, même très-considérable du Vésuve, pourrait ne pas produire d'autre effet que de diminuer légèrement la profondeur du vallon demi-circulaire de l'*Atrio del Çavallo* et d'en changer la couleur. Vu de la Lune, un pareil changement pourrait paraître problématique et donner lieu à des discussions entre les observateurs. Les observations faites par le P. Secchi les 10 et 11 du mois de février dernier, tendraient naturellement à faire supposer que quelque changement de ce genre doit s'être produit dans la configuration du cratère Linné depuis l'époque à laquelle remontent les cartes de Lohrmann et de Beer et Mædler. Au surplus, on doit désirer que les observations relatives à la permanence absolue ou à de très-légères altérations des accidents de la surface lunaire se multiplient, car *une seule* altération, même très-légère, suffirait, si elle était bien constatée, pour établir que la *vie géologique* existe encore dans l'intérieur de la Lune aussi bien que dans l'intérieur de la Terre. »

Or, il nous paraît résulter des faits que nous venons d'exposer que l'altération subie est loin d'être *très-légère*, de sorte que la continuité de l'action éruptive est dès maintenant établie comme très-probable. Il reste à trouver la cause de la transformation que Linné a dû subir, à expliquer le rétrécissement considérable du

diamètre du cratère et l'existence de la tache blanche qui l'entoure. Avant de connaître les observations de MM. Secchi, Wolf et Huggins, M. Schmidt a discuté les hypothèses diverses que pouvait suggérer ce singulier phénomène. Il ne croit pas à une éruption de vapeurs ou de cendres volcaniques semblables aux éruptions terrestres, car on apercevrait, au lever et au coucher du Soleil sur l'horizon de Linné, l'ombre projetée par le cône éruptif, et l'on n'aperçoit rien de pareil. Un affaissement du cratère eût fait voir, pendant la phase, des ombres plus fortes à l'intérieur qu'auparavant. Si le cratère s'était, au contraire, rempli de matières jusqu'au sommet, l'ombre intérieure eût disparu ; mais on aurait toujours dû observer l'ombre portée à l'extérieur par les remparts sur la planète environnante. Il ne reste donc plus qu'à supposer qu'une éruption liquide ou pulvérulente a rempli le cratère, puis a débordé tout autour, comblant le vide intérieur ainsi que les pentes extérieures des remparts, s'étendant enfin à une certaine distance dans la plaine, et ne présentant plus dès lors qu'une déclivité insensible.

Cette hypothèse doit être modifiée, depuis qu'on a constaté l'existence d'un cratère étroit et profond au centre de la tache blanche. Peut-être, une première éruption a-t-elle d'abord comblé le cratère primitif, puis une éruption nouvelle, dégageant sur une moindre étendue le centre de la cavité comblée, a-t-elle donné naissance au cratère actuellement visible. On peut aussi supposer que c'est par l'accumulation successive des matières autour de l'orifice primitif qu'a eu lieu le rétrécissement dont il s'agit. Mais ce ne sont là évidemment que des conjectures, dont la vérification est actuellement sinon impossible, du moins bien difficile avec les moyens optiques dont les astronomes disposent.

Ce qui ressort avec le plus d'évidence des faits que nous avons rapportés dans cette note, c'est que l'opinion qui admet la continuité de la vie géologique à la surface de la Lune — pour nous servir de l'expression employée par M. Élie de Beaumont — peut s'appuyer aujourd'hui sinon sur des preuves incontestables, du moins sur des probabilités de plus en plus décisives.

Peut-être le phénomène de géologie lunaire présenté par le cratère Linné s'est-il reproduit, et se montrera-t-il encore en d'autres points de la surface de notre satellite. En examinant la carte de Mædler, dans les régions voisines de Linné, nous avons

remarqué nous-même, au nord de Sulpicius Gallus, deux taches blanches circulaires qui ont sans doute la même origine que celle qui recouvre actuellement Linné. L'attention étant maintenant éveillée, il faut espérer qu'on ne tardera point à signaler d'autres indices de la continuité de l'action volcanique à la surface de la Lune. Témoins alors des phénomènes eux-mêmes, les astronomes pourront asseoir sur des bases plus positives leurs théories relatives à la formation du sol lunaire. La géologie de notre satellite entrera dans une phase moins hypothétique, et l'on pourra, avec quelque vraisemblance, répondre à quelques-unes des questions si intéressantes que nous posions au début de cet article sur la constitution physique de la Lune ; car il ne faut pas oublier que les hypothèses, pour être fécondes, les théories, pour être rationnelles, et mériter l'assentiment des hommes de science dignes de ce nom, doivent être constamment appuyées sur les observations et les faits. En dehors de ce terrain solide, l'imagination la plus puissante et la plus vive ne construit que de vains fantômes propres à égarer, à détourner de la véritable voie ceux qui se laissent prendre à ces séduisantes fantaisies.

AMÉDÉE GUILLEMIN.

III

NOTICE BIOGRAPHIQUE

LORD ROSSE.

Lord Rosse, dont les journaux français du 3 novembre annonçaient la mort récente, était né le 17 juin 1800, au château de Birr, près Parsontown (King's-Cownty, Irlande). Amateur zélé des sciences, il était depuis longtemps au nombre des astronomes les plus célèbres de notre époque et il jouissait auprès des savants d'une véritable popularité.

Les écrits de lord Rosse sont peu nombreux et se trouvent presque tous dans les *Transactions philosophiques* de la Société Royale de Londres, dont il était membre depuis 1831.

Son premier mémoire a pour titre : *On account of experiments on the reflecting telescope*[1]. Il renferme le détail des essais faits par lui depuis 1827 pour arriver au choix définitif de la composition la plus propre à la fabrication des miroirs métalliques, et la description d'une machine ingénieuse pour tailler et polir ces miroirs. Le télescope qu'il construisit en 1840 avait 3 pieds anglais, soit $0^m,90$, d'ouverture. Ce n'était en quelque sorte qu'un premier essai. Quatre ans plus tard (1844), lord Rosse était parvenu à établir un immense télescope de $1^m,80$ de diamètre et $16^m,76$ de longueur focale. La machine, d'un poids total de 104 quintaux, avait coûté la somme énorme de 300,000 francs. — L'Angleterre est le seul pays où les personnes riches fassent de semblables dépenses dans l'unique but d'être utiles à la science.

Deux mémoires : *Observations on some of the nebulæ, Observations on the nebulæ* lus à la Société royale le 13 juin 1844 et le 20 juin 1850, renferment le détail des observations faites à l'aide de cet instrument par lord Rosse et par son assistant M. Johnstone Stoney. Grâce à la grande quantité de lumière donnée par leur télescope, ces deux astronomes ont pu dessiner avec exactitude un certain nombre de nébuleuses remarquables et ils ont ainsi fourni des documents propres à résoudre un jour l'importante question de savoir si les nébuleuses changent de forme par la condensation successive de la matière dont elles sont formées.

G. R.

[1] Lu le 18 juin 1840.

PHYSIQUE

I

LA PHYSIQUE MODERNE

ESSAI SUR L'UNITÉ DES PHÉNOMÈNES NATURELS, PAR M. SAIGEY.

I

L'unité des forces physiques ! A-t-on donc enfin trouvé cette loi unique qui régit l'ensemble du monde matériel? Comme les astronomes, qui n'ont plus qu'à traduire en équations la célèbre phrase de Newton pour prévoir à l'avance la marche des corps célestes, n'avons-nous plus que des équations à écrire, des calculs à faire, pour voir sortir de nos formules l'universalité des phénomènes naturels ? Non, mais nous sommes arrivés à concevoir que cette loi unique existe, que cette masse énorme de faits que l'observation et l'expérience nous ont dévoilés, que de puissants génies ont déjà coordonnés en faisceaux, ont entre eux un lien plus intime encore : bien que divers en apparence, ils ne sont que les manifestations, sous des aspects différents, d'un seul et même principe.

Habitués à voir dans la lumière et la chaleur deux compagnons presque inséparables, il ne nous semble pas étrange de les attribuer à une même cause, dont les effets varient avec les organes qu'ils affectent. Mais la gravité, l'affinité, la cohésion, l'électricité, le travail mécanique ! Depuis longtemps cependant des liens isolés réunissaient ces forces ; on avait vu la chaleur se transformer en travail, et inversement ; le jeu de l'affinité développer de la chaleur, la lumière être un agent de compositions et de décompositions chimiques, l'électricité engendrer la cha-

leur, la lumière, les décompositions, le mouvement, et être engendrée à son tour par ces différentes forces. La découverte de la corrélation de tous ces agents était déjà un point capital; de là à l'idée qu'ils se transformaient l'un dans l'autre, il y avait un pas de géant : il fut franchi d'abord pour le travail mécanique et la chaleur, mais non sans hésitations. Aujourd'hui ce n'est plus de leur transformation ni de leur équivalence qu'il est question, mais de leur identité.

Tous les phénomènes naturels ne sont que des transformations de mouvement, tel est le nouveau principe. Le saut est un peu brusque; pour la chaleur, on y était préparé de longue main par l'équivalence, si bien démontrée et mesurée aujourd'hui, d'une quantité déterminée de chaleur à une quantité également déterminée de force vive ou de travail; on a été conduit sans le vouloir à ne voir dans la chaleur qu'un mouvement des particules des corps. Pour les autres agents ou forces physiques, ce n'est plus l'expérience qui nous conduit à les identifier, mais le raisonnement; puisqu'ils se transforment l'un dans l'autre, il doit y avoir des rapports d'équivalence entre ces phénomènes; s'ils sont équivalents, nous devons pouvoir les ramener tous à un seul d'entre eux; si le mouvement peut seul les engendrer, ce ne sont que des mouvements transformés, c'est-à-dire d'autres mouvements.

C'est là l'idée mère du livre de M. Saigey, idée qu'il reconnaît n'appartenir ni à lui ni à personne, mais être en quelque sorte ambiante dans l'atmosphère scientifique. La préciser, définir à quelles sortes de mouvements peuvent être rapportés les différents agents physiques, expliquer quand, comment et pourquoi ils se transforment l'un dans l'autre, en un mot vérifier l'hypothèse hardie vers laquelle tend tout physicien, qu'il l'avoue ou non, telle est la tâche qu'il s'est imposée. Tâche épineuse et difficile, mais non sans gloire; tâche épineuse, car tous ceux qui s'y sont heurtés sont tombés dans les divagations les plus extravagantes et n'ont produit que des systèmes dignes d'aller rejoindre dans un éternel oubli toutes les fantaisies que, depuis Thalès jusqu'à Descartes, a enfantées l'imagination des philosophes.

Dès le début la difficulté se présente. Il ne suffit pas de dire que tout est mouvement, il faut définir ce qui se meut. Est-ce la matière, est-ce l'éther? et du premier coup il faut pénétrer dans

la nature même de cet éther mystérieux, que le calcul seul nous a révélé, mais *in quo vivimus et movemur;* borner l'hypothèse au nécessaire, mais en dire assez pour que nous puissions suivre ces mouvements et leurs transformations.

Le mélange de réserve et de hardiesse, l'habileté avec laquelle sont tournés ces obstacles, vraiment redoutables, les qualités même du style qui rendent la lecture de M. Saigey si facile et si attrayante, l'on n'en trouvera plus rien ici. Forcé d'abréger, non sans regret, j'essayerai de donner, par des citations puisées çà et là, l'idée la plus exacte possible du système de M. Saigey en le réduisant à son squelette.

II

« Nous nous figurons un gaz simple, l'oxygène par exemple, comme un ensemble de molécules élémentaires, animées de mouvements, qui se choquent les unes les autres; d'où résultent la force expansive du gaz et la pression qu'il exerce sur les corps entre lesquels il est contenu. C'est sous cette forme simple que nous nous représentons l'éther et nous ajoutons que ses éléments sont des atomes, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent être divisés. Si l'on nous objecte la difficulté de comprendre qu'ils soient réellement indivisibles, nous répondrons qu'il nous suffit de concevoir qu'ils se comportent comme tels, car nul n'a la prétention de pénétrer ni l'infiniment petit, ni l'infiniment grand. Les atomes de l'éther sont animés de mouvements qu'ils se communiquent les uns aux autres et qu'ils communiquent aux corps environnants. »

« Ces atomes sont impénétrables et inertes, ils ne perdent de mouvement qu'en le communiquant. (Rien ne distingue donc l'éther de la matière.) Ils se choquent et rebondissent dans tous les sens : ils ne sont cependant point élastiques, mais ils sont animés d'un mouvement de rotation en même temps que d'un mouvement de translation, mouvements qui par le choc, et sans qu'aucune élasticité intervienne, se transforment partiellement l'un dans l'autre, » comme le jeu de la toupie en donne de fréquents exemples.

« Les molécules des corps réputés simples sont-elles des unités

indivisibles, de véritables atomes, ou sont-elles des agrégats? Cette seconde hypothèse nous paraît seule admissible. Entre les molécules de l'oxygène, du carbone, du fer, la physique nouvelle ne conçoit aucune différence qui porte sur la qualité même de la matière ; elle ne voit dans ces corps divers que des propriétés qui résultent du mouvement. Si cela est vrai de ces corps comparés entre eux, cela est vrai des mêmes corps comparés à l'éther. Toute molécule élémentaire nous apparaît ainsi comme formée d'atomes éthérés. La chaleur désorganise les corps, elle arrive à séparer l'hydrogène et l'oxygène qui forment la vapeur d'eau, un dernier pas serait à faire : en surchauffant ces molécules mêmes on arriverait sans doute à les faire éclater, et on les résoudrait en atomes éthérés soit directement soit par degrés successifs. »

Quant aux causes possibles de l'existence de ces agrégats de molécules éthérées, M. Saigey s'abstient de les définir, mais il compare les molécules matérielles aux segments d'une sphère creuse réunis par la pression de l'air, à une veine liquide, et enfin aux tourbillons de vent ou de poussière que l'on voit parcourir de grands espaces sans se déformer. Cette dernière comparaison est évidemment la préférée.

« Ces agrégats, qui sont les molécules matérielles, sont animés d'un mouvement de rotation rapide dans lequel ils entraînent une atmosphère d'atomes éthérés, atmosphère limitée à une très-petite distance de cette molécule et qui en fait pour ainsi dire partie. Ces atmosphères sont-elles séparées, la cohésion n'existe pas ; sont-elles en contact, elle se développe et les corps de gazeux prennent la forme liquide ou solide, suivant qu'elles se touchent simplement ou se pénètrent. »

« Si au lieu de mettre en contact des molécules matérielles semblables, on met en contact deux molécules de natures différentes, c'est-à-dire d'atmosphères différentes en masse et en vitesse, l'équilibre ne peut plus subsister et l'action chimique, qui est caractérisée par la réunion de deux molécules d'espèces diverses prend naissance. »

Ayant ainsi constitué l'éther et la matière pondérable, M. Saigey passe en revue les différentes branches de la physique et fait ressortir avec quelle simplicité les divers phénomènes naturels peuvent s'expliquer par les deux principes, l'atome et le mouvement qui sont pour lui la nature physique entière.

La gravité ou l'attraction, qui semble se manifester entre deux masses pondérables, s'explique ainsi suivant lui.

Par ce fait seul qu'une molécule matérielle existe, elle introduit dans l'éther un défaut d'homogénéité. Les atomes éthérés qui en sont voisins, en sont moins vivement choqués qu'ils ne le seraient par des atomes éthérés semblables à eux-mêmes. Ce défaut de vitesse se communique en partie aux atomes voisins, et ainsi de suite. L'éther se trouve ainsi distribué en couches concentriques, dont les atomes sont animés de vitesses croissantes à partir de la matière pondérable, de telle sorte qu'une seconde molécule matérielle, placée dans cet éther se trouve choquée moins rapidement, ou moins souvent du côté faisant face à la première que du côté opposé. Elle est ainsi poussée vers la première, et on peut facilement déduire de la loi de l'attraction newtonienne, la loi suivant laquelle doivent décroître les vitesses des atomes éthérés.

Les courants électriques auxquels le magnétisme se rattache par des liens aujourd'hui classiques sont dus à un transport réel d'éther au sein de la matière pondérable. Il faut lire dans l'ouvrage même de M. Saigey les inductions qui rendent cette explication plausible, l'autorisent à n'admettre qu'un seul fluide, au lieu des deux fluides vénérés par l'ensignement classique, et à apprécier les raisons qui permettent de ne pas attribuer à des vibrations certains phénomènes, en particulier l'égalité en tous les points de l'intensité des courants.

Il est inutile de rappeler aux lecteurs de l'*Annuaire* la base de la théorie mécanique de la chaleur, comment de la notion première de l'équivalence de la chaleur et du travail, on est venu à ne plus voir dans les phénomènes calorifiques que la manifestation des mouvements qui agitent les particules des corps, sans toutefois qu'on ait pu jusqu'ici en préciser la nature ni le siége ; j'ai dit plus haut comment M. Saigey proposait de remplir cette lacune.

Quant à la lumière, dont la théorie est la mère de la physique moderne, à l'identité des radiations calorifiques, lumineuses, chimiques et phosphogéniques, dont les différences apparentes ne proviennent que de la variété de nos organes et des substances que nous y exposons, c'est dans les traités élémentaires qu'on peut voir aujourd'hui comment ces phénomènes si variés sont des conséquences mathématiques, c'est-à-dire nécessaires de l'exis-

tence de l'éther et de sa propriété de propager les vibrations transversales.

M. Saigey couronne sa synthèse du monde physique, en élargissant l'hypothèse de la Place, et faisant dériver la matière cosmique d'un éther universel, comme la Place fait dériver ses nébuleuses de la matière cosmique.

Dans quelques mots sur les êtres vivants. M. Saigey rappelle qu'ils sont comme les machines, soumis aux lois connues de la physique et en particulier à celle de la transformation de la chaleur en travail, il fait encore ressortir l'analogie entre les courants nerveux et les courants électriques, et s'attache à montrer que l'action de la volonté doit se réduire à des transformations de mouvement. Il conclut, en restant dans la limite des phénomènes physiques, que dans l'animal, comme dans le monde inorganique, rien ne se crée, ne se perd, qu'il n'y a que des transformations de chaleur en travail, c'est-à-dire de mouvement en mouvement.

Il résume alors tout son livre par ces mots :

« Nous concevons dans l'univers, une quantité innombrable d'atomes matériels animés de vitesses, et qui se groupent en systèmes pour former des molécules et des corps. Chacun de ces atomes et de ces systèmes, en raison de sa masse et de sa vitesse, possède ce que nous avons appelé jusqu'ici une force vive ou énergie. L'énergie passe indéfiniment d'un système à l'autre donnant lieu par là à la variété des phénomènes naturels. »

III

Les interférences, la polarisation de la lumière, le renversement du spectre avec les belles expériences de Kirchhoff, la fixité du point de liquéfaction, les lois de Mariotte, de Gay-Lussac, de Dulong et Petit pour les gaz, la transformation de la chaleur en travail, l'égalité en tous les points d'un circuit de l'intensité du courant qui le traverse, la proportionnalité du temps d'installation, d'un courant au carré de la longueur du fil qu'il doit parcourir; tels sont les seuls faits physiques cités par M. Saigey comme venant corroborer son hypothèse. Est-ce suffisant? ne pourrait-on pas bâtir

autant de systèmes qu'on voudra, dont ces quelques faits épars ressortiraient tout aussi naturellement ? Le nombre de faits dont une hypothèse rend compte est la mesure de sa probabilité, et un seul fait contradictoire, quelle que soit la variété des phénomènes qu'elle peut expliquer suffit pour la détruire. A ce compte l'hypothèse de M. Saigey peut sembler bien fragile, bien faiblement soutenue, et il faudrait, tout en la regrettant, la rejeter comme un pur jeu d'esprit. Il n'en est pas ainsi, cependant ; pour éviter de faire un cours de physique, M. Saigey a été trop sobre d'exemples. Pour estimer son système à sa valeur, il faudrait le mettre successivement en face de toutes les théories physiques actuelles, refaire la science à ce point de vue, distinguer ce qui est explicable, ce qui nécessiterait des modifications ou des compléments à l'hypothèse primitive. Ce travail, je n'ai ni la force, ni la volonté de l'entreprendre, et je me bornerai à esquisser ce que pourrait être une théorie de l'électricité, un peu négligée par l'habile écrivain, si l'on adoptait toutes ses idées.

Suivant M. Saigey les molécules matérielles entraînent avec elles, dans leur mouvement de rotation, des atmosphères éthérées, limitées à une très-petite distance. Des différences de masse et de vitesse de ces atmosphères naît l'affinité chimique ; lorsque cette affinité se satisfait, lorsque la combinaison a lieu, la distribution de l'éther dans ces atmosphères change. Nous admettrons que, pour que deux corps se combinent, l'un nommé positif devra augmenter son atmosphère, l'autre, le négatif, en perdre une quantité précisément égale. Dans l'acte de la combinaison, les molécules positives prennent de l'éther aux molécules négatives ; mais, si, outre les molécules qui se combinent, nous avons en présence des corps conducteurs, c'est-à-dire des corps dans lesquels la transmission de l'éther de l'atmosphère d'une molécule à une autre puisse se faire facilement, les choses se passeront différemment ; les molécules positives prendront de l'éther au conducteur voisin, les négatives en céderont : nous aurons ainsi un conducteur positif chargé d'éther, un conducteur négatif auquel il en manquera autant que le premier en a de trop. Nous disons alors que ces deux corps ont des tensions électriques égales et de sens ou de signes contraires. Lorsque ces tensions auront atteint une certaine limite, variable avec l'affinité des molécules en présence, les mouvements éthérés cesseront dans les conducteurs, et les échanges s'opéreront

entre les molécules comme si les conducteurs n'existaient pas. Si nous permettons aux conducteurs de retourner à l'état naturel, ils resteront perpétuellement aptes à fournir et à enlever de l'éther aux molécules. Nous y parviendrons soit en donnant à ces conducteurs des dimensions infinies, en les faisant communiquer avec la terre, soit en réunissant le conducteur chargé d'éther avec celui qui en est dépourvu. Il y aura alors un mouvement permanent d'éther, les molécules positives prennent de l'éther au conducteur négatif qui en prend au positif, auquel les molécules négatives le cèdent. Les molécules se trouvant ainsi dans l'état propre à la combinaison, celle-ci s'effectue; la combinaison de deux molécules nouvelles sera accompagnée d'un nouveau déplacement d'éther et ainsi de suite, nous aurons donné lieu à un courant électrique.

Ainsi, si dans une capsule de platine, et contenant de l'acide sulfurique, nous venons à plonger un porte-crayon métallique portant une baguette de potasse, nous ne tarderons pas à voir s'électriser la capsule et le porte-crayon, la première positivement, le second négativement ; au moyen des électromètres ordinaires, ou mieux à l'aide de l'électromètre condensateur de Volta, nous pourrons bien facilement reconnaître quelle est la nature de l'électricité de la capsule, quelle est celle de l'électricité du porte-crayon, constater qu'elles sont l'une vitrée, l'autre résineuse, c'est-à-dire que la capsule a gagné de l'éther, que le porte-crayon en a perdu. Si, retirant la baguette de potasse de l'acide sulfurique, nous réunissons le porte-crayon et la capsule, ils reviendront tous deux à l'état neutre, c'est-à-dire que l'éther surabondant de la capsule se sera porté sur le porte-crayon pour y remplacer l'éther cédé par ce dernier à la potasse.

Si nous laissons indéfiniment la potasse dans l'acide sulfurique, le porte-crayon et la capsule arriveront rapidement à un état de tension électrique qu'ils ne pourront plus dépasser, et la capsule s'échauffera fortement. Réunissons-nous la capsule et le porte-crayon par un fil métallique, nous pourrons constater dans celui-ci tous les phénomènes produits par les courants, par exemple l'échauffement du fil en même temps qu'un refroidissement relatif du liquide.

Il va sans dire qu'au lieu de recourir à l'action chimique, nous aurions pu utiliser toute autre cause capable de rompre l'équi-

libre entre les atmosphères éthérées de deux molécules : le frottement, la chaleur, etc.

Examinons les atmosphères éthérées qui entourent les molécules de nos conducteurs. Elles sont limitées, dit M. Saigey. Par quelle cause, nous l'ignorons, admettons-le comme fait. Si elles sont limitées, et le restent, bien qu'elles aient eu probablement bien des fois l'occasion de s'augmenter ou de diminuer, c'est que toujours, en vertu de cette cause que nous ignorons, elles repoussent tout éther qui voudrait s'adjoindre à elles, comme elles retiennent celui qu'elles possèdent. Ajoutons, pour en finir avec les propriétés sans cause apparente dont nous sommes obligés de gratifier ces atmosphères, qu'elles ne peuvent ni compléter ce qui viendrait à leur manquer, ni se décharger de leur éther en excès dans l'éther du vide qui s'oppose complétement au passage de l'électricité.

D'après les lois, et en nous servant du langage habituel de la mécanique, séparer les deux électricités, c'est-à-dire prendre de l'éther à une atmosphère qui le retient pour le donner à une atmosphère qui le repousse, c'est accomplir un double travail et il faudra, pour y arriver, dépenser soit force vive, soit chaleur, soit travail mécanique déjà acquis, absolument comme pour extraire l'air d'un réservoir et le comprimer dans un autre. Les réunir, c'est permettre aux atmosphères trop chargées de se décharger sur celles qui manquent d'éther, c'est mettre en communication avec l'air atmosphérique nos deux réservoirs, c'est produire un travail.

C'est, en effet, ce qui arrive quand on use d'une pile thermo-électrique ou d'une machine quelconque pour produire l'électricité. Il en est encore de même avec les piles ordinaires. Car bien que la pile s'échauffe, nous savons qu'elle s'échauffe moins que s'il ne se produisait pas de courant. Cette chaleur, qui semble perdue, est employée à produire et à renouveler sans cesse la différence de tension aux pôles et la recomposition des électricités dans le circuit reproduit cette quantité de chaleur.

Notre manière de voir, ou plutôt celle de M. Saigey, sur ces atmosphères éthérées nous conduit ainsi à poser le principe suivant :

Le passage d'une certaine quantité d'électricité d'un corps plus chargé à un corps moins chargé, est accompagné d'une production de travail, et le passage contraire d'une quantité d'électri-

cité d'un corps moins chargé à un corps plus chargé exige une dépense de travail.

Ajoutons-y que l'électricité ne peut pas passer d'elle-même d'un corps moins chargé à un corps plus chargé et nous aurons établi deux principes sur lesquels on pourrait édifier une théorie mécanique de l'électricité.

Essayons, par exemple, de calculer la chaleur produite par le passage d'un courant dans un fil métallique, et pour cela essayons, par une figure, de nous rendre compte de la manière dont les choses se passent dans un courant. Imaginons une série de réservoirs communiquant les uns avec les autres, disposés sur un plan horizontal, et une pompe amenant perpétuellement de l'eau du dernier réservoir au premier. Cette pompe sera l'image de notre pile, chaque réservoir l'image d'une molécule du métal qui compose le circuit.

Lorsque le régime moyen de notre appareil sera établi, la quantité d'eau amenée par la pompe dans le premier réservoir pendant une minute, sera exactement celle qui s'écoulera de ce réservoir dans celui qui est immédiatement après, de celui-ci dans le troisième pendant le même temps; cette quantité d'eau sera encore celle qui arrivera dans le dernier réservoir, pour en être extraite par la pompe en une minute et versée dans le premier réservoir.

La quantité d'eau qui s'écoule d'un réservoir dans un autre pendant l'unité de temps, dépend évidemment de la grandeur de l'orifice et de la différence du niveau de l'eau : elle est proportionnelle à ces deux quantités, et si nous supposons tous nos réservoirs identiques, et que les trous qui les mettent en communication soient égaux, la différence du niveau de l'eau d'un réservoir au suivant devra être la même pour tous les réservoirs, pour que la quantité d'eau passant de l'un à l'autre soit partout la même dans le même temps, pour que ce qu'on appelle le régime permanent soit établi.

Si l'eau représente pour nous l'éther, cette différence de niveau entre deux réservoirs sera ce que M. Ohm a appelé la chute électrique d'une molécule à la suivante; la différence totale de niveau entre le premier et le dernier réservoir est la différence de tension entre les pôles de notre pile, pôles qui sont représentés par les extrémités des canaux qui, par l'intermédiaire de la pompe, les mettent en communication. Cette différence de tension se nomme

encore force électro-motrice, parce qu'elle détermine le mouvement de l'éther dans le circuit d'un pôle à l'autre, comme la différence de niveau de l'eau dans les réservoirs extrêmes détermine le mouvement du liquide.

A chaque minute, la pompe fait passer une quantité déterminée d'eau du dernier réservoir au premier; le travail qu'elle fait pendant cette minute est mesuré par le produit de cette quantité d'eau Q par la différence de niveau H; et cette quantité de travail semble entièrement perdue, puisque, le régime permanent étant établi, les choses sont à tout instant au même état qu'à l'instant précédent. C'est ici que nous allons invoquer le secours de la théorie mécanique de la chaleur. L'eau arrive dans le premier réservoir, où le niveau est à une hauteur h, avec une certaine vitesse v; elle sort avec la même vitesse v pour entrer dans le second, où la hauteur n'est que h', bien qu'elle soit poussée de l'un dans l'autre par une force proportionnelle à la différence de niveau $h-h'$, de telle sorte que nous perdons tout le bénéfice de cette hauteur de chute, et comme cette perte se répète à chaque passage d'un réservoir dans l'autre, nous perdons en tout le bénéfice de la différence totale H de niveau entre les deux réservoirs extrêmes. Ainsi cette perte totale QH est le résultat de pertes successives $Q(h-h')$ répétées à chaque passage. Eh bien, la théorie mécanique de la chaleur, basée sur cet axiome : « Rien ne se crée ni rien ne se perd, » nous apprend que cette perte ne doit être qu'apparente, que si, malgré le travail dépensé par nous continuellement sur la pompe, nous n'arrivons pas à accélérer indéfiniment le mouvement de l'eau, c'est que le mouvement que nous devions communiquer à cette eau se transforme : au lieu d'être un mouvement général de transport, il devient une somme de mouvements ayant leur siége à l'intérieur même des molécules d'eau; en un mot, qu'elle se transforme en chaleur, comme le mouvement d'une balle de plomb lancée sur un obstacle se transforme en un mouvement moléculaire capable de la fondre s'il est assez intense. Comment s'opère la transformation? par le frottement de l'eau sur elle-même ou contre les parois? Nous l'ignorons; mais c'est précisément là l'utilité et la grandeur de la théorie mécanique de la chaleur, que de nous permettre de calculer l'état final d'un système matériel dont nous connaissons l'état initial, sans qu'il soit besoin de connaître toutes les phases du passage d'un état à l'au-

tre. Cette théorie nous apprend que, si une quantité de force vive[1] nous semble perdue, nous devons la retrouver en chaleur ; que si une quantité de travail disponible nous semble perdue, nous devons également la retrouver en chaleur ; et elle donne, de plus, le moyen d'évaluer cette quantité de chaleur, toujours proportionnelle au travail ou à la force vive absorbés. Ainsi chacun de nos réservoirs gagnera une quantité de chaleur proportionnelle à $Q(h-h')$; et, comme il a été expliqué plus haut que la quantité Q est proportionnelle à $(h-h')\times s$, s étant la section de l'orifice, cette quantité de chaleur sera proportionnelle à $\frac{Q^2}{s}$. La quantité totale de chaleur accumulée dans tous les réservoirs sera autant de fois cette quantité qu'il y aura de réservoirs, c'est-à-dire qu'elle sera proportionnelle à QH, ou au travail de la pompe qui semblait perdu. Nous pouvons, en supprimant le circuit, c'est-à-dire en bouchant les orifices qui mettent la pompe en communication avec les réservoirs extrêmes, concentrer toute cette quantité de chaleur dans la pompe même, et réalisant ainsi l'une des plus célèbres expériences de Joule, donner en même temps l'image de ce qui se passait dans notre capsule de platine quand le porte-crayon et la capsule étaient séparés.

Reprenons maintenant notre courant, en remplaçant nos réservoirs par des molécules, l'eau par l'éther, les différences de niveau par des différences de tension, la section de nos orifices par la facilité offerte au passage de l'éther d'une molécule à sa molécule voisine. Entre deux molécules le passage d'une quantité q d'électricité développe une chaleur ou une force vive, proportionnelle à cette quantité q et à la différence T de tension entre ces deux molécules, différence qui est positive, puisque l'électricité va du corps plus chargé au corps moins chargé, c'est-à-dire, répétons-le encore une fois, crainte de méprise, que l'éther va d'une atmosphère trop abondante à une atmosphère moins abondante. Si nous nous bornons à considérer ce qui se passe dans une unité de temps, nous savons qu'on appelle résistance R la différence de tension qui doit exister entre deux molécules pour qu'une unité d'électricité passe de l'une à l'autre, quantité qui est bien en raison inverse de la conductibilité, c'est-à-dire de la facilité, qu'offre la matière de notre

[1] On se rappelle que la force vive d'un corps est le produit de sa masse par le carré de sa vitesse.

circuit au mouvement électrique ; de sorte que $T = qR$, et que la quantité Q de chaleur qui est produite, proportionnelle à qT, l'est à q^2R; s'il y a n molécules dans la section du fil, la quantité de chaleur produite sur toute la section sera n fois plus grande nq^2R, mais la quantité q d'électricité qui s'échangera entre deux molécules sera n fois plus petite que celle I qui passe dans le fil, de sorte que $q = \frac{I}{n}$; et que Q sera proportionnel à $\frac{I^2R}{n}$, et comme n est évidemment proportionnel à la surface de la section, Q sera proportionnel à $\frac{I^2R}{S}$; le même phénomène se reproduirait dans chaque élément de la longueur l du fil, la quantité totale de chaleur sera donc proportionnelle à $\frac{I^2Rl}{S}$, expression qu'on trouve dans tous les traités de physique.

D'un autre côté, cette quantité de chaleur doit être la même, que nous considérions la succession des mouvements dans les différents éléments ou dans leur ensemble. Si nous considérons uniquement les deux pôles de la pile, la différence F de leur tension qu'on nomme encore la force électro-motrice, la quantité I d'électricité qui passe dans le fil, nous voyons qu'en somme on a recomposé la quantité I d'électricité, séparée par la différence de tension F, ou en parlant le nouveau langage, reporté I d'éther d'une atmosphère qui l'avait en trop et le repoussait avec une force $\frac{F}{2}$, à une atmosphère d'éther à laquelle I manquait et qui l'attirait avec une force $\frac{F}{2}$; le travail produit ainsi FI doit être le même que la quantité Q trouvée plus haut, de sorte que F est proportionnel à $\frac{IRL}{S}$, ce qui est bien conforme à la vérité.

Hâtons-nous de quitter ces calculs; il nous suffit d'avoir montré que l'hypothèse peut se prêter à des vérifications numériques; negligeons la loi de Faraday sur les décompositions chimiques, qui nous conduirait à admettre qu'à équivalents égaux tous les corps électro-négatifs doivent perdre la même quantité d'éther pour entrer en combinaison, et examinons les phénomènes d'induction.

Si une molécule A vient à toucher une molécule électrisée B, il peut arriver si l'éther passe facilement d'une des atmosphères à l'autre, que A partage simplement l'état électrique de B. Si un obstacle s'oppose à ce passage, la portion de l'atmosphère de A voisine de celle de B, sera ou plus vivement ou moins vivement choquée par l'éther de B, suivant que celle-ci sera électrisée en

plus ou en moins ; l'éther de la molécule A devra donc s'y distribuer d'une manière particulière, s'éloigner du point de contact ou s'y concentrer, suivant l'état électrique de B. Si A fait partie, comme nous l'avons supposé, d'un corps mauvais conducteur, la nouvelle distribution de son éther réagira sur celle des atmosphères des molécules voisines, et de proche en proche l'influence de l'état électrique devra se faire sentir dans le mauvais conducteur, dont les molécules seront, suivant l'expression de Faraday, polarisées.

Si, pour fixer les idées, nous supposons B électrisée négativement, c'est-à-dire privée d'éther, toutes les molécules du mauvais conducteur auront plus d'éther du côté de B que du côté opposé. Si nous mettons maintenant un bon conducteur C en contact avec le mauvais conducteur, du côté opposé à B, il se trouvera en contact avec les portions les moins chargées d'éther du mauvais conducteur. Son éther y affluera, au détriment de l'éther des régions plus éloignées, et C se trouvera électrisé par influence, l'électricité positive du côté de B, l'électricité négative du côté opposé. C'est bien ce que l'expérience nous apprend. Comment de l'électrisation par influence découle la théorie de l'électricité dissimulée, c'est dans les traités de physique qu'on le verra.

Si au lieu de mettre notre corps mauvais conducteur en contact avec une molécule électrisée, nous l'avions mis en contact avec un circuit dans lequel passe un courant électrique, l'équilibre de son éther eût été troublé d'une manière un peu différente, mais qu'il est possible de pressentir, notre mauvais conducteur serait devenu à son tour capable de modifier l'état électrique d'un corps bon conducteur. Sans qu'il soit nécessaire de calculer ici exactement quel peut être cet état, on comprend que, comme dans l'électrisation par influence, il doit varier avec l'épaisseur du mauvais conducteur interposé entre le courant d'une part, et le bon conducteur de l'autre. Cet état variera donc suivant qu'on approchera ou éloignera le conducteur du courant, et comme toute modification dans l'état électrique d'un corps est accompagnée de transports d'éther, c'est-à-dire de courants, il s'ensuit que le mouvement d'un conducteur devant un courant déterminera dans ce conducteur un nouveau courant. Une analyse plus minutieuse des circonstances des phénomènes montrerait quels doivent être le sens et l'intensité du courant induit, mais à première vue

on voit déjà que, toutes choses égales d'ailleurs, il doit être proportionnel à la longueur de la partie induite; puisque ce courant est causé par des différences de tension, qui doivent faire équilibre à la distribution de l'éther dans le milieu mauvais conducteur, et par conséquent être indépendantes de la matière dont le circuit induit est formé, la quantité d'électricité qui sera transportée dans le courant induit, et dont le transport est causé par ces différences de tension, sera proportionnelle à la conductibilité spécifique et en raison inverse de la longueur totale du circuit, ce qui est bien vérifié par l'expérience.

On pourrait encore faire ressortir la liaison entre les phénomènes d'induction et les attractions et répulsions électriques; mais ce serait trop nous éloigner du livre de M. Saigey, dont je dois poursuivre l'examen. Arrêtons-nous à cette phrase: « Choisir l'électrie, voilà le premier progrès à réaliser; voici le second : déterminer l'équivalent mécanique de l'électricité, chercher à combien de kilogrammètres correspond une électrie. »

Choisir une unité pour les intensités des courants; mais c'est fait; il n'y a pas de physicien qui, dans des expériences de mesures, n'ait soin de dire combien de grammes d'eau décompose, par unité de temps, le courant qu'il emploie. Tout le monde sait que c'est là la mesure de l'intensité, ou, si l'on aime mieux, du débit du courant, débit qu'on trouvera partout semblable à lui-même. Les uns ont mesuré la quantité d'eau décomposée, les autres le volume d'hydrogène dégagé, d'autres le poids de zinc ou de cuivre dissous, mais n'avons-nous pas l'admirable loi de Faraday et des tables d'équivalents chimiques pour ramener toutes ces mesures à l'une quelconque d'entre elles. Il n'y a pas là de difficulté. Mais est-ce tout? non, « il faut savoir à combien de kilogrammètres correspond une électrie, » c'est-à-dire la quantité d'électricité nécessaire pour décomposer un poids connu d'eau, dit M. Saigey. Là il y a une idée fausse contre laquelle le lecteur doit être prémuni.

En présence d'une chute d'eau, demandera-t-on, pour se rendre compte de sa valeur, à connaître seulement son débit? Non. Mais on voudra connaître la hauteur de la chute, dont le produit par le débit donnerait la puissance. De même s'il s'agit d'une pile, il ne faut pas demander seulement combien elle décompose d'eau à la minute dans un voltamètre, mais encore, avec quelle ten-

sion elle sépare les deux électricités ou, ce qui revient au même, dans quel circuit, avec quelle résistance vaincue, elle a ce débit. Un courant très-faible, dans un circuit très-résistant, développera autant de chaleur qu'un courant fort dans un cylindre de grande section. Or, rien n'est plus simple que de calculer la longueur d'une colonne de mercure d'un millimètre de diamètre, ayant la résistance du circuit sur lequel on expérimente; quand on a cette longueur en mercure, une simple proportion, dont l'un des termes est cette longueur, les deux autres, les résistances connues du cuivre et du mercure, donnera la longueur du cuivre équivalente. On a donc les deux éléments qui suffisent pour connaître en travail ou en chaleur la puissance de la pile. Veut-on la mesurer directement, M. Favre a appris à le faire. On peut même faire mieux. M. Becquerel a donné en grammes la force électro-motrice, c'est-à-dire la différence de tension aux pôles de chaque espèce de pile, quantité qui est indépendante du circuit. Il en résulte que, pour toutes les piles examinées par ce savant, on peut calculer d'avance la quantité d'électricité ou le nombre de grammes d'eau qu'on décompose par minute dans un circuit de la résistance qu'on voudra, et par suite la quantité de chaleur que l'on pourra obtenir dans un temps donné. Que veut-on de plus? Les questions posées par M. Saigey sont-elles résolues? Et si un savant anglais veut vérifier les nombres donnés par M. Becquerel, il ne sera pas embarrassé pour transformer en livres et en pieds, s'il le juge convenable, les grammes et les mètres.

Il se trouve même que le point intéressant est précisément la mesure de la force électro-motrice ou de la tension, car c'est une mesure de l'affinité ; la différence de tension qui est développée dans la pile à gaz par la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène, est la même que celle qu'on est obligé de produire entre les électrodes d'un voltamètre pour décomposer l'eau qu'il renferme; c'est encore la mesure de la force nécessaire pour séparer l'oxygène de l'hydrogène, et également celle de la force qui les réunit, force qui dans la mécanique chimique doit jouer un rôle aussi important que les masses combinées, et que la chaleur produite dont elle est un des facteurs.

IV

Que de points remarquables on pourrait encore expliquer avec ces hypothèses : la dispersion, la variation du coefficient de dilatation et des conductibilités avec la température. Quelles considérations ingénieuses on eût pu tirer de la loi de Dulong, sur les chaleurs spécifiques des atomes simples combinées avec la variabilité de la chaleur spécifique, et la constance de l'équivalent chimique, qu'eût produit l'examen des températures auxquelles les corps ont réellement la chaleur spécifique correspondant à leur équivalent chimique. Quelle lumière aurait-on fait jaillir de la mesure de l'affinité, déduite des courants électriques, relativement aux masses et aux vitesses de ces molécules dont on ignore tout jusqu'ici, même l'existence, à ce que prétendent certains chimistes. N'y a-t-il rien à dire des remarquables travaux de M. Gaudin sur les groupements probables des molécules dans les combinaisons cristallines? N'était-ce pas le cas d'esquisser une théorie de la polarisation rotatoire, basée sur les mouvements des molécules pondérables?

A côté du principe de la conservation des forces vives, n'y a-t-il pas, en mécanique, un théorème général aussi important dans tous les mouvements de rotation, celui de la conservation des aires? N'est-il pour rien dans l'économie du monde physique?

La manière dont les différents mouvements, lumière, chaleur, électricité, action mécanique, se transforment l'un dans l'autre, n'aurait-elle pas pu donner lieu à des échappées lointaines sur l'avenir de notre monde, aussi intéressant que son passé.

Peut-être si on avait vu les principes de M. Saigey rendre compte non-seulement de la grande masse des faits, mais encore de bien des détails, la séduction eût-elle été, je ne dis pas plus vive, mais plus durable ; eût-elle mieux résisté à l'examen, aux objections sans nombre qu'on peut leur faire, et dont je vais résumer les principales.

Ne parlons plus de l'électricité, aussi bien M. Saigey en a-t-il à peine dit un mot. Mais la pesanteur ? Il y a là une question qu'il ne se fait pas. Son explication va également bien à tous les corps. D'où vient qu'ils sont inégalement pesants? Si l'on s'en tenait

à son explication qui ne touche que la surface des corps, une balle de plomb et une balle de bois de même volume recevraient de l'éther la même impulsion. Il ne s'est pas préoccupé de l'action que devait exercer sur l'éther ambiant le corps attiré, action qui est tout aussi importante que celle exercée par le corps attirant. Quelle définition faut-il donner du poids d'un corps. Et la cohésion? Comment se limite cette atmosphère éthérée? Pourquoi y a-t-il une limite à partir de laquelle les atomes éthérés cessent d'être entraînés par la rotation d'une molécule matérielle? Pourquoi le phénomène est-il discontinu? Nous savons bien que les attractions moléculaires ne suivent pas les lois de la gravitation. Mais, est-ce l'expliquer, ou bien le répéter sous une autre forme que dire: « l'existence de ces atmosphères est tout à fait distincte du phénomène qui répartit l'éther en couches différemment denses. Comment se fait-il que la lumière ne nous apprenne rien sur cette variation régulière de densité de l'éther stellaire? Dans les corps transparents l'éther a-t-il la même densité que dans le vide ou non? Ces deux systèmes sont en présence, et par un remarquable hasard, ils conduisent aux mêmes formules dans la théorie de la lumière, jusqu'à ce jour impuissante à décider entre eux. Si la molécule pesante est un agrégat d'atomes éthérés d'où peut provenir cette stabilité étonnante, cette indestructibilité, qui fait qu'à travers toutes les épreuves physiques et chimiques en notre pouvoir, son poids et sa nature se retrouvent toujours? Quelle est la cause qui limite notre action à ce point de décomposition?

Rien ne répond à ces objections dans le livre de M. Saigey.

Pourquoi, arrivé au sommet de son système, à l'éther, prend-il le soin de nous le définir si nettement? Un certain vague n'eût-il pas été plus prudent, sans nuire au reste de l'exposition. Il y a donc un vide absolu entre ces atomes d'éther, ces petites boules incompressibles et qui vont si vite? un fluide continu n'eût-il pas aussi bien satisfait l'esprit? Qui pourrait s'empêcher de souhaiter ouvrir une de ces molécules pour savoir ce qu'il y a dedans. J'avoue que le vide absolu me répugne, qu'il soit petit ou grand; il m'est difficile de me faire une idée sur la lumière et les mouvements vibratoires de ces molécules qui vont dans tous les sens avec une si prodigieuse rapidité, et je sens toute base me manquer lorsque je veux m'imaginer un rayon polarisé par exemple; un guide dans ce labyrinthe n'eût pas été de trop.

Enfin, tout en reconnaissant dans le principe de la conservation des forces vives ou de l'énergie, le principe fondamental de toute sa théorie, M. Saigey admet deux espèces d'énergie, l'une active, l'autre virtuelle, variant sans cesse dans leur proportion relative mais dont la somme demeure constante. Il est aisé de reconnaître sous ce nom le travail et la force vive tels qu'on les entend dans le langage habituel de la mécanique. Mais cette dualité, qui se présente à la fin d'un livre tout entier consacré à l'unité ne laisse pas que de surprendre. Qu'est-ce qu'une énergie ou une force vive dissimulée? Ce n'est donc plus du mouvement? mais une possibilité de mouvement.

Je dépense une certaine quantité de force vive ou de chaleur pour élever un poids à 10 mètres par exemple ; le poids élevé, je l'y maintiens, la force vive semble avoir disparu, être perdue, mais il dépend de moi de la reproduire en laissant tomber le poids. Ce poids, à 10 mètres de hauteur, représenterait une certaine quantité de force vive dissimulée, la terre en représenterait autant relativement au soleil et celui-ci par rapport à d'autres astres.

Reprenons cette question en détail. J'ai à dépenser de la force vive pour soulever le poids, pourquoi? parce qu'il est pesant. S'il ne pesait pas, il n'y aurait pas de travail à faire; or, il pèse, non parce que la terre l'attire, dit M. Saigey, mais parce que l'éther le choque plus sur sa partie supérieure que sur sa partie inférieure, il ne peut donc s'élever qu'en choquant cet éther qui est au-dessus de lui et en lui communiquant à chaque instant la force vive qu'il reçoit de la machine employée à le soulever.

De même, quand il tombe, il est poussé par l'éther supérieur, mais cet éther ne peut le pousser qu'en lui communiquant une partie de sa force vive. C'est donc à l'éther ambiant qu'il emprunte sa force vive ; comme il lui avait donné en montant et comme il faut qu'avant et après la chute l'état de l'éther ambiant redevienne le même, celui-ci doit reprendre au corps attirant (ou la terre) la force vive qu'il a communiquée au corps grave. Ainsi, en suivant strictement les principes de M. Saigey, un corps qui tombe emprunte à chaque moment à la terre sa force vive; élever un corps, ce n'est pas faire du travail, ni dissimuler de la force vive, mais la donner à la terre. Il y aurait là quelque chose d'analogue à ce qui se passe lorsque, mettant deux courants en pré-

sence et les abandonnant à leur action mutuelle, on produit un mouvement des circuits métalliques, compensé à chaque instant par une diminution dans l'intensité de ces courants.

L'unité, à laquelle vise M. Saigey serait en effet gravement compromise si le travail mécanique subsistait comme un équivalent de la force vive, car faire un travail, ce n'est pas simplement déplacer une masse, comme il le dit souvent, mais à tort, c'est déplacer une masse qui résiste au déplacement, élever un poids, comprimer de l'air, détruire la cohésion d'un solide. Admettre le travail comme une entité spéciale serait faire revivre du même coup *la force*, qui doit, au contraire, disparaître devant le mouvement.

Sous ces réserves, en supprimant encore quelques chiffres inexacts, par exemple les 70 kilogrammes qui vaincraient la cohésion d'une hauteur d'eau de 1 millimètre carré, les $10^{gr},33$ qui sont censés représenter l'action de la pesanteur sur cette même surface, nous devons louer M. Saigey d'avoir proclamé et essayé d'établir l'unité des forces physiques.

Son hypothèse n'est pas sans valeur. Nous avons essayé de montrer quel parti on en aurait pu tirer, et à quelles objections elle se prêtait. Mais on ne peut encore aujourd'hui lui ouvrir les portes de la science comme aux hypothèses de Fresnel et d'Ampère. Elle n'explique pas tout ce qu'elle a la prétention d'expliquer et elle touche trop de points auxquels il ne nous est pas encore permis d'atteindre ; tandis qu'elle nous renseigne sur la nature de l'éther, le mode de construction des molécules, les explications deviennent de plus en plus vagues à mesure que nous approchons des phénomènes observables. Heureusement la croyance à l'unité des forces physiques n'entraîne pas forcément l'adoption de l'hypothèse de M. Saigey dans tous ses détails ; elle est même indépendante de toute espèce d'hypothèse.

Que la vivacité de ces critiques me soit pardonnée. C'est un intérêt passionné pour le sujet, un amour désintéressé de la science qui me les inspire. La physique moderne, telle que nous l'ont laissée les Ampère, les Arago, les Faraday, les Fresnel, est assez belle pour être montrée telle qu'elle est. Notre siècle pourra regarder derrière lui sans honte. S'il laisse encore quelques lacunes, il a élevé bien loin en avant des phares qui éclairent la route à venir. M. Saigey n'a pas terminé la science et n'a pas

eu la prétention de le faire, mais il a expliqué avec talent comment les modernes étaient conduits à se figurer, par voie d'induction scientifique, cette unité du monde, que les anciens avaient fait jaillir de leur cerveau. Comment de cette unité découle l'infinie variété des phénomènes naturels, on le cherche, et on le cherchera longtemps encore[1].

REITOP.

II

CHANGEMENTS D'ÉTAT DES CORPS

D'après l'ensemble de nos connaissances, les corps simples doivent être regardés comme formés d'atomes placés à distance les uns des autres, et les corps composés sont des agrégats de molécules identiques dont chacune est un assemblage d'atomes différents groupés d'une manière parfaitement déterminée.

Les propriétés chimiques d'un corps relèvent de la nature de l'atome, les propriétés physiques résultent de l'arrangement des atomes dans la molécule et du mode de groupement de ces dernières[2]. Les trois états de la matière sont d'ailleurs caractérisés par une disposition différente des molécules, et c'est de cette disposition seule que dépend, par exemple, l'élasticité des solides, la fluidité des liquides, l'expansibilité des gaz. Nous savons, en

[1] Les lecteurs de l'*Annuaire* sont priés de ne voir dans l'article précédent que le résumé du livre de M. Saigey, et non les opinions des rédacteurs. On a voulu seulement suppléer à quelques lacunes trop considérables, tout en restant dans le même ordre d'idées. C'est ainsi qu'on a été conduit à exposer, suivant les idées de Faraday, l'électrisation par influence, tandis qu'une explication identique à celle donnée par M. Saigey, de la gravitation, eût été préférable, l'expérience ayant à peu près démontré que les phénomènes d'induction se développent dans le vide; mais il eût fallu substituer à l'explication de la pesanteur une autre hypothèse, ce qu'on a voulu éviter d'une manière absolue.

[2] La polarisation rotatoire du quartz dépend de l'arrangement des molécules, car elle ne se retrouve pas dans le quartz fondu. La polarisation rotatoire de l'acide tartrique est inhérente à sa molécule, car les dissolutions de cet acide agissent sur la lumière polarisée.

effet, que la chaleur fond, puis volatilise un solide sans que l'arrangement des atomes de sa molécule soit changé.

La théorie mécanique de la chaleur conduit à concevoir les gaz comme formés de molécules séparées par des intervalles, tels que leurs actions réciproques sont insensibles et animées d'un mouvement rectiligne de même vitesse pour les gaz qui sont à une même température. La loi de Mariotte, l'égalité approximative du coefficient de dilatation des divers gaz, les différences entre les chaleurs spécifiques à pression constante ou à volume constant, s'expliquent alors d'une manière très-nette, et le calcul peut rendre compte des expériences les plus délicates. Pour les liquides ou les solides, nous n'avons aucune connaissance analogue, et il serait aujourd'hui prématuré d'essayer une hypothèse sur la constitution de ces deux classes de corps.

L'examen minutieux des circonstances dans lesquelles se produisent les changements d'état des corps jette cependant quelque lumière sur cette architecture du liquide ou du solide.

Nous étudierons successivement le passage de l'état liquide à l'état gazeux (vaporisation), et le passage de l'état liquide à l'état solide (solidification).

I

VAPORISATION.

D'une manière générale, un liquide bout et se transforme en un gaz toutes les fois que la tension de sa vapeur est égale ou supérieure à la pression de l'atmosphère en contact avec lui (loi de Dalton). Pour une même hauteur barométrique, l'ébullition d'un liquide placé dans un vase ouvert à l'air libre doit donc se produire à une température constante, mais cette température sera d'autant plus basse que la pression atmosphérique sera plus faible. L'eau bout à 100° sous la pression de 760 millimètres, et à 0° dans le vide absolu, car, dans cette circonstance, la vapeur d'eau a encore une tension de 5 millimètres.

Les lois de la vaporisation par ébullition semblent donc d'une simplicité extrême; mais, si on vient à examiner le phénomène dans tous ses détails, on aperçoit bientôt des exceptions nombreuses

à la règle de Dalton. Ainsi, la nature du vase n'est pas sans influence sur la température du changement d'état; et dans certaines circonstances, avec des pressions au plus égales à celle de l'atmosphère, on peut maintenir liquide de l'eau dans laquelle un thermomètre centigrade marque 110 et même 115°.

Les phénomènes de ce genre ont été réunis sous le nom commun de phénomènes de retard à l'ébullition. Étudiés d'abord à Gand par Donny, et puis à Lausanne par M. Dufour, leurs particularités sont aujourd'hui assez bien connues pour qu'il soit possible de déterminer d'une manière rigoureuse les circonstances nécessaires à la production tumultueuse de vapeur qui constitue l'ébullition. Dans ce qui suit, nous ne nous astreindrons pas à suivre l'ordre historique de faits dont la découverte est souvent due au hasard; nous grouperons les expériences dans l'ordre le plus favorable, pour mettre en évidence l'influence des gaz sur la formation des vapeurs. Nous montrerons que, toutes les fois où le contact d'un gaz fait défaut, on observe des retards à l'ébullition.

A l'imitation des expériences de Plateau sur la figure d'équilibre d'un corps liquide soustrait à l'action de la pesanteur, plaçons des gouttelettes de chloroforme dans une dissolution de chlorure de zinc à un titre tel que sa densité soit rigoureusement égale à celle du chloroforme. En chauffant au bain-marie, il est facile d'élever peu à peu la température du liquide sans provoquer dans sa masse les courants ascendants ou descendants, suite nécessaire des conditions ordinaires d'échauffement.

Dans les conditions normales d'une surface terminale en contact avec une atmosphère illimitée, le chloroforme bout à 60°. Dans les circonstances spéciales où M. Dufour s'est placé, la température peut être portée à 80 et 98° sans que cette substance se vaporise. L'état liquide persiste encore à des températures où la tension de la vapeur est de 2 à 3 atmosphères. L'acide sulfureux, bout à — 10°, mais en suspension dans l'acide sulfurique étendu d'eau, il peut être conservé liquide jusqu'à + 18°, c'est-à-dire dans un intervalle de 28° au-dessus de son point ordinaire de vaporisation. L'eau en suspension dans un mélange d'huile de lin (densité, 0,93) et d'essence de girofle (densité, 1,05) reste liquide jusqu'à des températures de 110 et de 120° correspondant à des tensions de 1,5 et 2 atmosphères. Dans une circonstance, les gouttes

d'eau étant extrêmement petites, M. Dufour a vu l'eau rester liquide jusqu'à 170° ; la tension de sa vapeur était alors de 8 atmosphères.

Des retards analogues et d'une grandeur variable peuvent être obtenus avec tous les liquides ; l'expérience n'offre d'autre difficulté que la fabrication d'un liquide ayant une densité et un coefficient de dilatation à peu près égal à ceux de la substance sur laquelle on veut opérer et ne se mêlant pas avec elle. Des essais fort nombreux faits par le physicien de Lausanne, il résulte que d'une manière générale *un liquide en suspension dans un fluide de même densité et préservé du contact des gaz ne se réduit en vapeur qu'à une température supérieure à celle de son point d'ébullition.*

Ici se place une observation fort remarquable de M. Dufour. Si on touche une de ces gouttes surchauffées avec un corps solide quelconque, mais surtout avec une tige de bois, elle se réduit immédiatement en vapeur avec explosion et projection au loin des parties non vaporisées. Aux températures inférieures à celle de l'ébullition, le contact des solides est sans action. Les fils métalliques, les fragments ligneux, tous actifs, mais à des degrés différents, ne conservent pas pendant un temps indéfini la propriété de provoquer la vaporisation instantanée ; en les laissant séjourner dans le bain, ils perdent peu à peu cette faculté. Les métaux sont les premiers à devenir incapables de déterminer l'ébullition ; puis viennent les tiges de bois et autres corps poreux. Il n'est point de substance qui, à la longue, ne soit rendue inerte.

On ne saurait donc attribuer au corps solide lui-même l'ébranlement moléculaire nécessaire à la transformation du liquide en vapeur. On arrive, au contraire, à une explication très-plausible de ces faits, si on accorde aux gaz condensés à la surface des corps la propriété de déterminer par leur contact le changement d'état. Tous les corps, et en particulier les corps ligneux ou poreux, amassent et fixent à leur surface, lorsqu'on les plonge dans un liquide, même capable de les mouiller, une quantité variable de gaz plus grande pour les corps rugueux que pour les corps polis. Dans notre hypothèse, les substances ligneuses doivent donc jouir d'une activité supérieure à celle des corps métalliques et aussi elles doivent la consever pendant un temps plus long.

La facilité avec laquelle s'expliquent ainsi les moindres circon-

stances révélées par l'observation donne à la théorie de l'influence des gaz un grand degré de probabilité, et si l'expérience démontre que les autres circonstances de l'ébullition peuvent être prévues par une interprétation complète de cette hypothèse que le contact d'un gaz est nécessaire à la transformation d'un liquide en vapeur, la probabilité deviendra une certitude.

L'ébullition de l'eau dans un vase où on a fait le vide et qu'elle mouille complétement est le type d'une nouvelle classe de phénomènes fort intéressants à étudier. C'est à Donny que remonte la première démonstration de ce fait; de l'eau, placée dans un marteau d'eau purgé d'air par une longue ébullition, peut être portée jusqu'à 137° sans que des vapeurs se forment au sein de sa masse, par suite, sans qu'il y ait une réelle ébullition. L'expérience se termine, il est vrai, par une rupture, une dislocation de la colonne liquide, mais jamais il n'y a une véritable production de vapeur. Ceci confirme notre hypothèse, car, comme l'eau du marteau d'eau est très-exactement purgée d'air, la formation de vapeurs doit être très-difficile, sinon impossible.

M. Dufour a, du reste, fait voir que plus l'on diminue la quantité de gaz dissoute dans un liquide, plus les retards à l'ébullition deviennent fréquents et considérables. La démonstration résulte de la répétition, dans des circonstances très-variées, de l'expérience classique et bien connue dans laquelle de l'eau refroidie au-dessous de 100° entre en ébullition sous la cloche de la machine pneumatique.

L'appareil employé par le physicien de Lausanne se composait d'une cornue en verre communiquant, par l'intermédiaire d'un vase en tôle constamment refroidi à l'aide d'un courant d'eau, avec une machine pneumatique et un manomètre à mercure. Des robinets permettaient d'isoler ou de mettre en relation directe les trois parties de l'appareil. La cornue était chauffée au moyen d'un bain d'huile; et un thermomètre à très-petit réservoir passant à travers la tubulure donnait d'une manière constante la température du liquide soumis aux essais. L'expérience se faisait d'ailleurs de la manière suivante. Tous les robinets étant ouverts et la cornue en libre communication avec l'atmosphère, on portait l'eau à une température voisine de 100°. Le bain-marie était alors écarté, et tout le liquide entrait dans une période de refroidissement lent. En interrompant la communication avec l'extérieur et par

une manœuvre convenable de la machine pneumatique on arrivait facilement à produire par diminution de pression les conditions suffisantes pour l'ébullition. L'observation simultanée du manomètre et du thermomètre de la cornue donnait alors les éléments nécessaires à une vérification de la loi d'ébullition de Dalton pour des températures très-diverses comprises entre 10° ou 20° et 100°.

La même quantité d'eau servait à plusieurs expériences consécutives, faites, soit à des températures décroissantes, soit à une même température, en ayant soin chaque fois de ramener l'eau à l'ébullition sous la pression atmosphérique ; les essais successifs se faisaient d'ailleurs très-rapidement et sans aucune difficulté. Voici les principaux résultats obtenus.

Après un premier réchauffement *qui n'a pas atteint l'ebullition* et l'eau se refroidissant, l'ébullition, par diminution de pression, intervient exactement au point voulu par la loi de Dalton ou avec un très-faible retard de quelques dixièmes de degré seulement.

Lorsque le liquide *a bouilli quelques instants* avant de se refroidir et d'être soumis à l'épreuve de la diminution de pression, il entre en ébullition, tantôt à l'instant où la force élastique de la vapeur est égale à la pression dans la cornue, tantôt il se conserve liquide malgré une pression moindre et présente ainsi un retard plus ou moins considérable. Après deux, trois, quatre réchauffements jusqu'à l'ébullition, les retards deviennent de plus en plus fréquents : ils sont la règle et non plus l'exception. Après trois réchauffements au moins il est rare que l'ébullition se produise au point voulu ; la différence entre la température observée de l'eau et celle où son ébullition aurait dû avoir lieu, dépasse parfois 20 et même 30 degrés.

En introduisant dans le liquide des fils de platine ou de tout autre métal, le dégagement de vapeur se produit d'abord dans les conditions normales, mais après des réchauffements répétés et prolongés on finit par obtenir des retards parfaitement semblables à ceux qui précèdent. Avec les corps poreux, le bois, par exemple, les retards sont bien plus difficiles à obtenir ; mais après des réchauffements très-nombreux et un long séjour du bois dans l'eau, ils finissent aussi par se produire.

Lorsque l'eau se trouve dans ces circonstances particulières du retard à l'ébullition, elle ne présente, en apparence au moins, aucun phénomène particulier, et quoique son équilibre soit in-

stable, il n'y a, la surface exceptée, formation d'aucune bulle de vapeur ; mais lorsque, par une cause quelconque, l'ébullition intervient, il y a subitement une grande masse de vapeur produite et cette vapeur, « semblant s'arracher avec effort du liquide ou des parois des vases, » détermine un brusque soubresaut, presque une explosion, comme l'a remarqué Donny.

L'eau, même distillée, tient toujours en dissolution une certaine quantité d'air ; à la surface de tous les solides, on observe aussi une couche gazeuse très-condensée et fort adhérente dans la plupart des cas. Or, les expériences précédentes montrent que les retards à l'ébullition augmentent avec les causes qui, comme les réchauffements, les diminutions de pression, favorisent l'élimination des gaz. Si d'ailleurs l'existence d'une atmosphère gazeuse en contact avec le liquide est une cause déterminante de l'ébullition, il doit être possible d'empêcher tout retard en renouvelant sans cesse les gaz que l'échauffement élimine peu à peu du liquide, et la production d'une bulle de gaz dans la masse d'eau surchauffée doit provoquer une ébullition immédiate.

Ces conséquences ont été vérifiées de la manière suivante par M. Dufour. Dans la tubulure de la cornue on introduit deux fils de cuivre isolés qui descendent jusqu'au fond et se terminent à environ 1 centimètre l'un de l'autre. Des ébullitions successives finissent bientôt par amener des retards de 10 à 15° ; à ce moment on lance un courant électrique dans les fils de cuivre, l'eau se décompose et une ébullition tumultueuse commence immédiatement au pôle négatif sur lequel se dégage l'hydrogène : le pôle positif, où aucune bulle n'apparaît, car l'oxygène oxyde le cuivre, est tout à fait inactif, ainsi que la portion du liquide qui, entre les deux électrodes, est traversée par le courant électrique. L'ébullition au pôle négatif ne peut donc être attribuée à un ébranlement moléculaire produit dans la masse par le passage du courant électrique ; elle n'est explicable que par le contact de l'hydrogène gazeux mis en liberté.

Les recherches précédentes ont été faites en opérant à des températures assez élevées, à des pressions peu différentes de celle de l'atmosphère et en diminuant la tension des gaz placés au-dessus du liquide jusqu'au moment où l'ébullition était obtenue. L'autre mode d'opérer et qui consiste, partant d'une pression arbitrairement choisie, à échauffer le liquide jusqu'à ébullition,

permet également d'obtenir des retards. Les expériences se conduisent de la manière suivante : En manœuvrant la pompe on produit dans l'appareil une pression déterminée inférieure à une atmosphère, puis on chauffe au bain-marie et on note la température à laquelle l'ébullition intervient et se soutient pendant quelque temps. L'eau doit, d'ailleurs, être renouvelée dans la cornue après chaque expérience afin, de ne pas compliquer les résultats des perturbations propres à un liquide qui a déjà bouilli. Dans ces circonstances on observe, suivant M. Dufour, que :

1° Les retards à l'ébullition se produisent sous toutes les pressions ;

2° Les retards sont en général plus considérables lorsque l'ébullition se produit à des pressions plus faibles.

Ce dernier résultat était probable, si on admet que l'ébullition des liquides est surtout provoquée par le contact des gaz libres dans leur intérieur ; la couche gazeuse dissoute ou fixée aux parois tend en effet à disparaître en raison de l'accroissement de son volume, c'est-à-dire à mesure que la pression à laquelle on opère est plus faible.

Les retards à l'ébullition dans les vases de verre lavés à l'acide sulfurique (Gay-Lussac, 1812), l'influence des poussières métalliques versées dans un vase où l'ébullition vient de cesser, l'usage des fils de platine ou du charbon pour opérer dans les laboratoires des distillations sans secousses, s'expliquent aujourd'hui parfaitement si l'on songe que l'acide sulfurique a pour effet de détruire les poussières qui peuvent exister à la surface du verre et que les fragments métalliques, les corps poreux, apportent et retiennent dans le liquide une petite quantité de gaz dont la présence suffit à produire l'ébullition dans les circonstances normales de la loi de Dalton.

Le phénomène de l'ébullition, dit M. Dufour, dont nous résumons ici les idées, renferme évidemment un double fait : 1° un dégagement de vapeur dans toute la masse du liquide, possible seulement si la force élastique de cette vapeur est devenue égale à la pression qui s'exerce au point où elle doit se former ; 2° le phénomène moléculaire, proprement dit, de la transformation d'un liquide en un gaz, phénomène obscur dans sa nature, car si la théorie mécanique de la chaleur a conduit à une hypothèse rationnelle sur le mode de vibration des particules

gazeuses, nous n'avons aucune idée précise de la constitution des liquides. Par le premier des faits précédents, l'ébullition dépend de la pression extérieure et de la tension de vapeur du liquide, c'est-à-dire de sa température ; la relation entre ces deux quantités est donnée par la loi de Dalton. Par le second, elle dépend des causes qui peuvent troubler l'équilibre moléculaire du liquide et parmi ces causes, sans doute multiples, la présence d'un gaz est la plus énergique.

L'équilibre moléculaire qu'il faut détruire pour transformer un liquide en vapeur est probablement autre chose que la *cohésion* proprement dite. La cohésion empêche la séparation, l'écartement au delà d'une certaine limite (limite d'élasticité) des parties d'un même corps ; elle s'oppose à la division d'une masse liquide en d'autres portions également liquides ; mais dans la vaporisation il y a plus qu'une division moléculaire. De la vapeur d'eau n'est pas de l'eau en poussière. Pour opérer la transformation d'un liquide en vapeur, il faut vaincre autre chose que la cohésion.

C'est parce que l'ébullition dépend de ces deux faits, pression extérieure, action moléculaire, qu'elle est sujette à ces irrégularités bien connues aujourd'hui et qui étonnent lorsqu'on veut faire dépendre ce phénomène de la pression seule. Nous étudions ordinairement les liquides dans des conditions où les actions moléculaires de contact provoquent l'ébullition dès qu'elle est possible, dès que la force élastique de la vapeur est égale à la pression ambiante ; mais ce point est seulement un minimum quant à la température d'ébullition et dès que les circonstances extérieures au liquide n'exercent pas sur lui une action moléculaire aussi énergique, le corps se maintient liquide au delà des limites ordinaires. C'est en cela que consistent les cas particuliers que l'on nomme retards à l'ébullition : on ne doit pas oublier d'ailleurs que, *en fait*, ces prétendues exceptions deviennent *la règle* lorsque les liquides se trouvent soustraits au contact des solides et enveloppés d'un fluide de même densité.

A l'énoncé ordinaire de la loi de Dalton on doit donc substituer le suivant :

L'ébullition d'un liquide à une pression déterminée peut se produire à des températures différentes, suivant les conditions physiques dans lesquelles il est placé ; ces températures sont

égales ou supérieures à celles où la force élastique de la vapeur du liquide fait équilibre à la pression extérieure.

Les recherches de M. Dufour, fort intéressantes au point de vue de la physique, sont aussi de quelque importance pour l'explication des explosions de machines à vapeur. Les circonstances dans lesquelles se produisent ces terribles accidents sont en général les suivantes. Après une longue journée de marche, les mécaniciens ferment les robinets qui permettent à la vapeur de passer du générateur au corps de pompe, éteignent les feux et abandonnent le tout au refroidissement. Par la disposition même des chaudières, la partie supérieure, celle qui contient la vapeur, doit se refroidir plus vite que l'eau accumulée à la partie inférieure et protégée du rayonnement extérieur par les briques du foyer; à mesure que la vapeur se refroidit, elle se condense partiellement et il en résulte une diminution de pression qui doit, dans la majeure partie des cas, forcer l'ébullition à continuer; mais on sait aussi combien l'eau bouillie et privée d'air (c'est le cas de l'eau d'une chaudière) est disposée à conserver l'état liquide lorsque l'ébullition doit se produire à la suite d'une diminution de pression. Si ce retard se réalise effectivement, le changement d'état, lorsqu'une cause quelconque le produira, devra s'effectuer d'une manière tumultueuse avec ébranlement violent de la masse restée liquide et accroissement brusque de pression. Ces deux circonstances, choc et production subite de vapeur, sont suffisantes pour produire la rupture d'une chaudière.

Ces alternatives d'augmentation brusque et momentanée de pression dans une chaudière qui se refroidit avec lenteur et dans laquelle la pression devrait diminuer d'une manière continue ont, du reste, été observées par quelques ingénieurs.

Quelle que soit la valeur de l'explication précédente des explosions des chaudières à vapeur, on doit remarquer qu'elle rend un compte satisfaisant de ce fait, que les accidents surviennent presque toujours pendant la période de refroidissement et très-rarement dans la marche normale.

II

SURSATURATION.

Le passage de l'état solide à l'état liquide est, comme la transformation d'un liquide en vapeur, sujet à certaines anomalies connues sous les noms de *sursaturation* et de *surfusion*. Un corps solide peut en effet être amené à l'état liquide soit par dissolution, soit par fusion, et, de là, deux classes distinctes de phénomènes de solidification, classes auxquelles répondent deux séries d'anomalies.

L'existence des phénomènes de sursaturation est connue depuis le commencement du siècle. On savait dès cette époque qu'une solution de sulfate de soude saturée à chaud n'abandonnait pas en se refroidissant l'excédant de sel que l'eau avait pris à la faveur de l'élévation de la température et que dans certaines circonstances très-variables, notamment par l'agitation au contact de quelques solides, cette solution se solidifiait en totalité avec un dégagement brusque de chaleur. Depuis lors la propriété de former des solutions sursaturées a été étendue au carbonate, à l'acétate et au phosphate de soude, à l'alun, au sulfate de magnésie, au chlorure de calcium et à plusieurs autres sels anhydres ou hydratés[1].

Thomson, Schweigger (1813), Gay-Lussac (1813), Ziz (1815), le docteur Ure (1818), Th. Graham (1827) et quelques autres physiciens ou chimistes ont cherché à déterminer les circonstances dans lesquelles la sursaturation cesse; mais ils n'ont pu réaliser aucune expérience donnant *d'une manière constante* un résultat positif ou négatif; leurs essais, voire même leurs théories très-hasardées, ont cependant contribué à l'accroissement de nos connaissances; nous leur devons, par exemple, d'avoir démontré que la sursaturation pouvait se maintenir quelles que soient les réactions chimiques produites au sein de la liqueur : ainsi dans une solution sursaturée de chlorure de calcium on peut précipiter

[1] M. Lecoq de Boisbaudran, *Annales de physique et de chimie*, — Octobre 1866.

du sulfate ou de l'oxalate de chaux en y versant de l'acide sulfurique, ou de l'oxalate d'ammoniac, sans que le reste de la liqueur cristallise. On n'obtient pas plus d'effet si on fait agir sur la solution sursaturée d'une substance, l'eau mère au sein de laquelle des cristaux se sont déposés. D'une manière générale, quel que soit l'état moléculaire ou la constitution d'une solution sursaturée, elle peut se mélanger ou se combiner avec une solution simplement saturée sans en provoquer la cristallisation. La décomposition électro-chimique produite par le passage d'un courant électrique est également sans influence.

On sait aussi, depuis un assez grand nombre d'années, que, si les solutions sursaturées de sulfate de soude se conservent difficilement à l'air libre et d'autant moins longtemps que les vases sont plus larges ou plus ouverts, ou que l'air est plus agité, il suffit d'un couvercle non hermétique pour les garantir pendant très-longtemps. Enfin Gay-Lussac a démontré, dans un de ses premiers mémoires, que certaines substances solides, les poussières de l'air, en particulier, déterminent toujours la cristallisation, et que tous ces corps perdent cette propriété si, avant de les introduire dans le vase, on les mouille ou on les porte à une température un peu élevée.

Les travaux publiés de 1850 à 1852 par MM. Lœvel et Lamy, confirmèrent, par de très-nombreuses expériences, les résultats de Gay-Lussac, mais les idées théoriques sur la cause de la cristallisation restaient tout à fait confuses et les hypothèses les plus singulières avaient cours dans la science. Les conclusions du travail de M. Lamy sont fort instructives à cet égard. « Les corps solides, liquides et gazeux qui détruisent la sursaturation par leur simple contact perdent momentanément cette propriété, qu'ils soient en repos ou en vibration, soit par une simple élévation de température, soit par un léger frottement, soit enfin par une modification invisible et insaisissable que leur surface ou leur masse subit au contact de l'eau ou des dissolutions sursaturées. »

En 1860, M. Violette, imitant avec le sulfate de soude les expériences de M. Pasteur sur les fermentations, montra, à l'exemple de Schweigger, Ziz, Lœvel et Schrœder, que :

1° Un cristal de sulfate de soude ordinaire détermine toujours la cristallisation de la solution sursaturée;

2° Les corps exposés à l'air font cristalliser cette solution ;

3° On peut enlever à l'air toute action en le tamisant sur du coton ou de l'amiante ;

4° Les corps exposés à l'air deviennent inactifs quand on les échauffe ;

5° Le contact prolongé de l'eau enlève toute action aux substances qui font cristalliser.

Les conclusions précédentes constituent sans doute un progrès notable dans la question ; mais M. Violette ne fait pas connaître l'agent qui donne à l'air ordinaire son activité et, en outre, le mémoire du chimiste de Lille offre quelques erreurs de fait. Quatre ans plus tard (1864-1865), M. Violette et M. Gernez sont arrivés simultanément, et à l'insu l'un de l'autre, à prouver que le seul corps de la nature qui puisse faire cristalliser instantanément les solutions sursaturées de sulfate de soude est le sulfate de soude à 10 équivalents d'eau. La lumière se trouve ainsi faite dans cette question de la sursaturation qui renfermait un si grand nombre de faits isolés, quelquefois inexacts et presque toujours mal interprétés. Les mémoires de MM. Violette et Gernez sont insérés à la suite l'un de l'autre dans le tome III (1866) des *Annales de l'École normale supérieure*. Nous résumerons ici le mémoire de M. Gernez, dans lequel on remarque une marche simple, rigoureuse, logique et élégante.

Le seul fait établi d'une manière incontestable par les recherches faites de 1813 à 1864 est l'action immédiate, infaillible d'un cristal de sulfate de soude sur la solution sursaturée de cette substance. Cette réaction est d'ailleurs d'une sensibilité extrême, une baguette de verre ou de métal, sans action sur la liqueur, en détermine la cristallisation immédiate, si, après avoir été humectée, elle vient à toucher un cristal de sulfate de soude de manière à en détacher une parcelle imperceptible. Ce fait a une importance capitale, car il montre avec quel soin minutieux il faut éliminer les conditions dans lesquelles un fragment, si faible qu'il soit, de sulfate de soude pourrait venir au contact de la liqueur ; on devra donc ne faire usage que de vases soigneusement lavés à l'eau distillée bien pure.

Autre fait également important ; un cristal de sulfate de soude chauffé à 33° perd la propriété de faire cristalliser la solution sursaturée. L'expérience se réalise aisément en recouvrant de sul-

fate de soude les réservoirs de petits thermomètres que l'on porte lentement à des températures croissantes depuis la température ordinaire jusqu'à 100°. On constate alors que ceux de ces instruments maintenus quelque temps au-dessus de 33° ont perdu toute activité[1]. Cette remarque fournit un nouveau moyen d'éliminer l'influence du sulfate de soude qui pourrait être attaché aux divers objets.

En versant des dissolutions chaudes de sulfate de soude dans des vases lavés avec soin à l'eau distillée, ou portés à une température supérieure à 33°, on arrive facilement, surtout si on a soin d'employer un entonnoir afin que la liqueur ne touche pas les parois des ballons, à conserver longtemps intactes des liqueurs sursaturées ; on peut même, les flacons étant fermés avec des bouchons bien lavés, agiter les liquides. L'expérience est, on le voit, peu différente de celle de Gay-Lussac, telle qu'on la reproduit ordinairement dans les cours. Si dans ce dernier cas l'entrée de l'air, à l'instant où on brise la pointe effilée du tube, détermine la cristallisation, c'est qu'en même temps il tombe toujours dans la liqueur quelques parcelles de sulfate de soude adhérentes aux fragments du tube. L'air en lui-même n'est pour rien dans le phénomène, car on peut faire passer dans une solution sursaturée des quantités considérables d'un air lavé par l'eau, tamisé sur du coton exempt de sulfate de soude, ou porté à 33°, sans que la cristallisation se produise.

Les flacons dans lesquels on veut conserver des dissolutions sursaturées n'ont pas même besoin d'êtres fermés ; un col long, étroit et contourné ou simplement incliné suffit à empêcher la cristallisation, et si par hasard elle se produit, les cristaux divergent toujours d'un point situé dans la verticale du col, en sorte qu'on peut l'attribuer aux poussières de toutes sortes tombées de l'air dans le flacon. La cristallisation se produit, en effet, d'autant plus rapidement que les cols des ballons sont moins contournés, plus rapprochés de la verticale et plus larges, c'est-à-dire, d'autant plus aisément que la chute d'un corps est plus facile.

Si les solutions sursaturées de sulfate de soude librement exposées à l'air cristallisent rapidement, ce n'est donc point par suite

[1] A la température de 33°, le sulfate de soude perd brusquement son eau d'hydratation et sa forme cristalline change : c'est aussi la température du maximum de solubilité.

d'une propriété particulière à l'air, considéré comme mélange d'oxygène et d'azote, mais par l'action d'un corps qu'il tient en suspension et qui, de même qu'il tombe dans les flacons, doit se déposer sur les corps. Or l'expérience directe prouve que des poussières, actives avant d'avoir été portées à 33°, deviennent inertes si on les maintient quelque temps à cette température. Il est aussi facile de s'assurer que ces mêmes poussières, lavées avec de l'eau distillée bien pure et séchées avec précaution, à basse température et sous une cloche, sont devenues inactives.

La substance qui, dans ce cas, communique à l'air la propriété de faire cesser la sursaturation est donc soluble dans l'eau et se détruit à 33° ; elle a deux des principales propriétés du sulfate de soude ordinaire, et comme l'effet de ce dernier corps est connu, on est presque en droit d'affirmer que la substance active de l'air est le sulfate de soude (SO^3,NaO. 10 HO) lui-même.

Cependant et afin de ne laisser aucun doute sur cette conclusion, M. Gernez a cru devoir essayer l'action de la plupart des substances que l'on rencontre dans les laboratoires de chimie. L'expérience lui ayant montré que les dissolutions sursaturées se maintenaient intactes à l'air libre dans des tubes fermés à un bout et inclinés d'environ 30° sur l'horizon, il préparait un assez grand nombre de ces tubes et apportait dans leur intérieur, avec une baguette de verre très-légèrement humide et sans toucher les parois, les corps à essayer. Sur 276 substances ainsi soumises à l'expérience, 39 firent cristalliser la solution ; parmi ces dernières, 19 étaient insolubles et lavées à plusieurs reprises à l'eau distillée et à l'abri du contact de l'air, elles perdirent toute action ; les eaux de lavage indiquaient d'ailleurs la présence de la soude et de l'acide sulfurique. Des cristallisations souvent répétées finirent aussi par rendre inactifs les cristaux des 20 substances solubles dans lesquelles le chlorure de baryum avait indiqué l'existence des éléments d'un sulfate.

Il semble donc résulter de tous ces essais que le sulfate de soude à 10 équivalents d'eau est la seule substance qui puisse faire cristalliser la solution sursaturée, et comme les eaux de lavage de l'air ou des poussières du laboratoire contiennent à la fois de l'acide sulfurique et de la soude, on peut affirmer que *c'est à la présence du sulfate de soude que certains corps doivent la propriété de faire cristalliser les solutions sur-*

saturées de cette substance. L'existence du sulfate de soude dans l'air n'a, du reste, rien d'extraordinaire ; l'acide sulfureux et l'hydrogène sulfuré qui se produisent d'une manière constante dans notre atmosphère, donnent aisément de l'acide sulfurique ; le plâtre est également très-répandu ; enfin le sel marin, apporté par les vents de mer ou nos usages domestiques, fournit l'autre élément. Quant à la dissémination, elle résulte de la propriété du sulfate de soude de s'effleurir à l'air et de se diviser ainsi spontanément en une poussière extrêmement fine qu'emporte le moindre courant d'air.

Des expériences analogues à celles résumées dans les pages précédentes, ont été faites avec l'acétate de soude et ont montré que la dissolution sursaturée de cette substance ne cristallisait que sous l'influence de l'acétate de soude lui-même.

La sursaturation d'une liqueur ne s'observe d'ailleurs que dans certaines conditions de température. Ainsi, si l'on prend une dissolution de sulfate de soude saturée à 33°, et qu'on la refroidisse jusque vers —8 ou —10°, il se dépose, sans l'intervention d'aucune cause extérieure, des cristaux de sulfate de soude ordinaire à 10 équivalents d'eau. La sursaturation de ce sel n'est donc possible qu'entre les deux limites de —8 et de +33 degrés.

Pour l'acétate de soude, les limites sont —20 et +78 degrés.

Le sulfate de soude offre encore une propriété remarquable. Une solution très-concentrée de ce sel (1,5 partie de $NaO,SO^3.10HO$ et 1 partie d'HO), refroidie lentement à 7 ou 8 degrés au-dessus de zéro, dépose spontanément des cristaux à 7 équivalents d'eau, par conséquent moins hydratés que le sel ordinaire. A une température de 10 ou 12 degrés, la stabilité moléculaire de cette dissolution est déjà si faible que la production des cristaux peut être déterminée par le simple frottement sur les parois du vase, d'un corps solide, plongé dans le liquide.

Le même phenomène peut se produire avec le chlorure de calcium, le bi-acétate de potasse, l'azotate d'ammoniaque.

Dans ces derniers mois, M. Lecoq de Boisbaudran[1] a profité de la grande instabilité moléculaire que présentent ainsi les dissolutions très-sursaturées pour obtenir à la température ordinaire certains sels sous des formes cristallines, qu'ils n'affectent que dans

[1] *Bulletin de la Société chimique de Paris.* — Juillet et août 1867.

des conditions bien différentes. Ainsi le sulfate de magnésie, qui cristallise au-dessous de 20°, contient en général 7 équivalents d'eau, et celui qui se dépose vers 30°, 6 seulement. Eh bien, cette dernière variété peut être obtenue à 15 ou 20° par le contact d'un sulfate de nickel à 6 équivalents d'eau.

Dans d'autres cas, l'énergie de l'action physique est suffisante pour produire des hydrates nouveaux. Le sulfate de cuivre, qui n'était connu que sous deux espèces chimiques différentes renfermant 5 ou 7 équivalents d'eau, a pu être obtenu par M. Lecoq de Boisbaudran, combiné avec 6 équivalents d'eau.

Parvenus à ce point de notre analyse, il est utile de jeter un coup d'œil en arrière, de comparer les résultats précédents à ceux obtenus par M. Dufour pour la vaporisation et d'examiner les analogies et les dissemblances des deux phénomènes de surchauffement et de sursaturation. Lorsqu'il y a retard à l'ébullition, la présence au sein du liquide d'un gaz quelconque suffit à la déterminer d'une manière immédiate et par suite d'une sorte d'entraînement. Les phénomènes de sursaturation exigent pour cesser l'introduction dans la liqueur d'un corps solide, mais non d'un solide quelconque; c'est la présence à l'état solide de la substance en dissolution qui est nécessaire. L'analogie entre les deux phénomènes est que, dans l'un et l'autre cas, il faut faire intervenir un corps déjà à l'état que l'on veut obtenir ; la différence est que si les gaz ayant une constitution moléculaire semblable peuvent être substitués l'un à l'autre, nous sommes forcés de reconnaître qu'il n'en est point ainsi pour les solides et que dans cette classe de corps il y a probablement autant de types différents que de substances diverses.

Le travail de M. Gernez fournit quelques données propres à indiquer jusqu'où va cette dissemblance entre les solides.

Les expériences sur le sulfate et l'acétate de soude ayant montré qu'une parcelle de la substance dissoute était indispensable pour provoquer la cristallisation, il devenait intéressant de rechercher si cette action devait être attribuée à la forme cristalline ou à la constitution chimique.

La propriété de cristalliser dans le même système, est sans influence aucune sur le phénomène. Parmi les 276 substances dont l'action a en vain été essayée par M. Gernez, il y en a, en effet, un grand nombre qui, comme le sulfate de soude, cristallisent

dans le système du prisme oblique à base symétrique. La constitution chimique paraît aussi sans influence, car les sels de soude et les sulfates n'ont pas plus d'activité que d'autres substances. Reste donc seulement à examiner quelle est l'action des substances isomorphes.

Ce dernier essai a été fort difficile. Les corps isomorphes ayant des propriétés très-voisines sont infiniment difficiles à séparer d'une manière complète et la pureté absolue était ici rigoureusement nécessaire, car on sait qu'une trace de la substance dissoute suffit à faire cristalliser toute la liqueur. M. Gernez, après bien des recherches, s'est arrêté à l'emploi des sulfates de magnésie ($MgOSO^3,7HO$), de zinc ($ZnOSO^3,7HO$), de nickel ($NiOSO^3,7HO$) que l'on peut préparer purs et dont on obtient facilement des dissolutions sursaturées. Ces trois substances cristallisent dans le système du prisme rhomboïdal droit, et l'une quelconque d'entre elles fait cristalliser la solution sursaturée des deux autres. De là il faut conclure que *les corps qui ont même formule chimique et même forme cristalline jouissent de la propriété de faire cristalliser leurs solutions sursaturées.*

De l'ensemble des recherches précédentes, il résulte qu'une solution sursaturée ne cristallise que sous l'influence de la substance même qu'elle renferme ou d'une substance isomorphe, et qu'un cristal introduit dans cette liqueur ne peut déterminer que la formation de cristaux dont la composition chimique et la forme sont identiques à celles des corps employés. Si donc une liqueur sursaturée renferme plusieurs sels dont la forme cristalline est différente, on pourra les séparer les uns des autres avec une grande perfection par l'emploi, en guise de réactif, de cristaux de ces diverses substances. Par la même raison, une solution sursaturée de sulfate de soude, par exemple, permettra de reconnaître si dans un mélange de plusieurs substances il existe du sulfate de soude. C'est un nouveau mode d'analyse élémentaire.

Les conclusions précédentes supposent toutefois qu'une substance déterminée possède une seule forme cristalline. Or nous savons qu'il n'en est pas toujours ainsi : le soufre, par exemple, donne des octaèdres par cristallisation dans le sulfure de carbone, et des prismes par cristallisation ignée ; enfin un petit nombre de composés produisent, lorsqu'on évapore lentement leurs dissolu-

tions, des cristaux qui, bien qu'appartenant au même système et formés de faces se coupant sous des angles égaux, diffèrent par la disposition des troncatures de même espèce ; dans les uns, elles sont inclinées vers la droite, dans les autres, vers la gauche. Les premiers font tourner vers la droite le plan de polarisation de la lumière, les seconds le font, au contraire, tourner vers la gauche. Les quartz, les cristaux d'acide tartrique, d'acide malique, d'acide aspartique, d'acide camphorique et de quelques autres substances également organiques jouissent de cette remarquable propriété. Il est d'ailleurs évident que la production de cristaux d'une espèce déterminée, ou la séparation des cristaux droits d'avec les cristaux gauche, est fort difficile ; M. Pasteur, qui s'est longtemps occupé de cette question, n'avait trouvé d'autre méthode que l'examen microscopique.

Dans le cours de ses recherches, M. Gernez eut l'occasion de former des dissolutions sursaturées de tartrate double de soude et d'ammoniaque et il reconnut qu'une solution de sel gauche ne cristallise pas au contact d'un fragment du même sel hémièdre à droite; et *vice versa*, la solution sursaturée du sel droit n'abandonne pas de cristaux quand on la touche avec un cristal gauche. « Ce fait, dit M. Gernez, m'a conduit à examiner la solution inactive de paratartrate double de soude et d'ammoniaque. Touchée par une parcelle de sel droit, elle n'a abandonné que des cristaux droits ; une portion du même liquide, au contact du cristal gauche, a produit un dépôt de sel gauche. Voilà donc un moyen simple de séparer à volonté du paratartrate double de soude et d'ammoniaque, l'un ou l'autre des deux sels qui le constituent. »

Cette observation remarquable peut être répétée avec les autres substances qui, suivant les circonstances, jouissent de la propriété de dévier à droite ou à gauche le plan de polarisation et elle constitue la démonstration rigoureuse de ce fait qu'une substance ne détermine la cristallisation d'une solution sursaturée, que si elle possède *exactement* la même composition chimique et la même forme cristalline que le corps dissous ; il est nécessaire que les deux corps soient complétement identiques, la similitude physique étant encore plus importante que la similitude chimique. Voici, en effet, deux substances, le tartrate droit et le tartrate gauche de soude et d'ammoniaque dont toutes les propriétés chimiques sont identiques et qui, ayant des formes cristallines

dissymétriques ne peuvent se remplacer dans une action purement physique comme celle de la solidification. La différence entre les deux tartrates résulte d'une différence, non pas dans le groupement des molécules qui forment les cristaux, mais dans l'arrangement même de la molécule du tartrate. On sait en effet que les dissolutions des tartrates jouissent suivant les cas d'un pouvoir rotatoire moléculaire vers la droite ou vers la gauche et que cette propriété se retrouve avec le même sens dans l'acide tartrique et dans les divers tartrates que l'on peut dériver du sel double considéré.

En résumé, nous pouvons donc dire qu'il n'y a de moléculairement identiques que les substances de composition chimique semblable dont les cristaux ont rigoureusement la même forme.

Les gaz, sous l'influence d'un excès de pression, peuvent, comme les solides, former des solutions sursaturées persistantes avec la cause qui les a produites, et se détruisant lentement lorsque la liqueur se trouve au contact de l'atmosphère. L'eau de Seltz, le vin de Champagne, sont des dissolutions sursaturées d'acide carbonique, et l'on sait qu'elles n'abandonnent que peu à peu l'excès de gaz qu'elles renferment. Diverses circonstances hâtent cette disparition et parmi elles nous devons citer en première ligne, comme étant la plus efficace, le passage d'un gaz. Vient ensuite la présence d'un corps solide et surtout d'un corps poreux. Cette dernière influence résulte d'expériences trop connues pour qu'il soit nécessaire de les rappeler ici, nous ferons seulement remarquer que les recherches récentes de M. Gernez[1] donnent la démonstration des faits suivants :

1° Les corps solides autour desquels se dégagent les bulles gazeuses perdent au bout d'un certain temps leur propriété ;

2° Un séjour prolongé dans l'eau leur enlève toute action ;

3° Les corps solides perdent leur propriété sous l'influence de la chaleur.

4° Les corps solides qui n'ont pas eu le contact de l'air sont sans action sur les solutions gazeuses sursaturées.

Les expériences qui ont conduit aux conclusions précédentes sont du genre de celles de M. Dufour sur les phénomènes de

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXIII, p. 883-1866, 2e semestre.

retard à l'ébullition et leur interprétation la plus simple et aussi la plus rationnelle consiste à attribuer le dégagement gazeux à l'air apporté dans la solution par les corps solides. Si, en effet, dans une liqueur sursaturée d'acide carbonique, on introduit une éprouvette capillaire rendue par elle-même inactive, mais contenant de l'air ou un gaz quelconque, on voit presque aussitôt une bulle gazeuse se former au point où l'air est en contact avec la dissolution sursaturée et seulement en ce point ; elle augmente rapidement de volume, se dégage bientôt, et une autre lui succède jusqu'à ce que la liqueur ne conserve plus que la quantité de gaz qu'elle peut dissoudre dans les conditions de température et de pression où elle est placée.

Nous ajouterons que la nature chimique du gaz n'intervient pas dans le phénomène, il n'y a qu'une action physique.

Cette action des gaz libres sur ceux qui sont dissous rend compte d'un certain nombre de phénomènes ; elle explique comment un courant d'air entraîne rapidement d'une solution tout le gaz qu'elle contenait; comment une solution gazeuse exposée à l'air s'appauvrit peu à peu...

On peut même rattacher à cette action quelques phénomènes chimiques. Ainsi l'eau oxygénée légèrement acide donne un dégagement abondant d'oxygène si on l'agite au contact de l'air, ou si on y introduit des fils de platine ayant à leur surface une mince couche de gaz; tandis qu'ils deviennent inactifs par une longue ébullition dans l'eau. Des corps plus stables que l'eau oxygénée sont décomposés d'une manière analogue. Par exemple le bicarbonate de potasse bien cristallisé ne se détruit pas à l'air et à la température ordinaire, tandis qu'une solution de ce sel traversée par un courant de gaz inerte abandonne, même à 10°, des quantités croissantes d'acide carbonique. Les sulthydrates de sulfures alcalins, les bisulfites, les biacétates sont dans le même cas. « En général, les composés salins en dissolution ou fondus sous l'influence de la chaleur paraissent abandonner à un courant de gaz inerte une quantité déterminée de celui de leurs éléments qui est volatif à la température de l'expérience. »

III

SURFUSION.

L'examen plus détaillé des expériences précédentes conduirait à l'étude des phénomènes de *dissociation;* c'est une tâche du domaine d'un chimiste, et nous la laissons à un de nos collègues plus autorisé que nous en cette matière délicate. Nous rentrerons immédiatement dans les questions purement physiques de la surfusion.

Les corps solides soumis à l'action de la chaleur fondent à une température déterminée fixe pour chacun d'eux, et lorsqu'après avoir été liquéfiés ils se refroidissent lentement, la solidification se produit en général au moment précis où la masse fluide est revenue à la température qui convient à la fusion du corps considéré. A cette loi il y a cependant quelques exceptions. La plus anciennement connue est celle que présente l'eau. La glace fondant à 0°, de l'eau soumise à l'action d'un mélange réfrigérant doit se congeler à 0°; mais l'on sait depuis Farenheit que de l'eau bien pure, enfermée dans des espaces capillaires ou maintenue dans un repos parfait, reste liquide à des températures qui peuvent descendre jusqu'à 8 ou 10° au-dessous de zéro. Avec des précautions toutes spéciales, M. Despretz a vu de l'eau rester liquide jusqu'à 20° au-dessous de zéro, et M. Dufour, en opérant sur des goutellettes en suspension dans un mélange de même densité, est allé plus loin encore.

Des faits analogues s'observent avec le phosphore, le soufre, l'acide acétique cristallisable, la naphtaline, l'acide sulfurique, l'acide phénique, l'essence d'anis, qui peuvent être maintenus sous la forme liquide à une température inférieure à celle à laquelle ils entrent en fusion. Entre ces diverses substances il n'y a de différence que l'étendue des limites dans lesquelles la surfusion est possible.

Le phosphore fond à 44°; mais en le laissant refroidir sous une couche d'eau dans un tube entouré d'eau tiède, il reste liquide jusqu'à 32° et peut, même à cette température, être agité sans que la solidification se produise. Si le phosphore est renfermé

dans un tube ouvert, on peut, pendant qu'il est surfondu, plonger dans son intérieur un corps quelconque qui a pris sa température sans déterminer son changement d'état. Les fils métalliques, les tiges de bois, le phosphore rouge lui-même, sont inactifs ; mais vient-on à toucher le liquide avec un fragment de phosphore ordinaire, ou seulement avec une baguette que l'on a mise en contact avec ce corps, aussitôt la solidification commence au point touché et se propage très-rapidement dans toute la masse.

Les corps surfondus, pris entre certaines limites de température, se comportent donc comme les dissolutions sursaturées; la solidification n'est déterminée que par le contact d'un corps identique à celui qui est en fusion. L'analogie entre la surfusion, la sursaturation et la vaporisation semble donc complète ; mais voici un fait découvert par M. Gernez[1] et qui les différencie. On peut déterminer la solidification du phosphore par une friction, dans l'intérieur de la masse, soit de deux solides, soit d'un corps solide contre les parois du tube. « L'effet produit est infaillible ; la solidification commence aux points frottés et se propage rapidement dans toute la masse. Ce phénomène se produit aussi facilement lorsque la température est de 43° que lorsqu'elle s'est abaissée à 32°, limite inférieure de la surfusion du phosphore. »

Les autres substances que l'on peut obtenir surfondues présentent les mêmes propriétés : elles se solidifient par une friction produite dans leur intérieur.

Il semble que ces phénomènes peuvent s'expliquer sans faire intervenir aucune force catalytique, et qu'à certains égards ils auraient même pu être prévus. La plupart des corps surfondus augmentent de volume à l'instant de leur solidification qui est ainsi caractérisée par un éloignement des molécules ; dans la solidification d'une dissolution sursaturée, il y a au contraire rapprochement des molécules solides disséminées dans la masse. Les molécules d'un corps surfondu peuvent donc être dans un état d'équilibre plus instable que celles des liqueurs sursaturées, et il n'y a rien d'étonnant que la compression entre le corps frotté et le corps frottant d'une petite partie de la substance détermine la solidifi-

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXIII, p. 218, 30 juillet 1866.

cation de quelques molécules qui seront le noyau autour duquel se solidifiera la masse entière.

IV

RÉSUMÉ.

Les recherches, dont le résumé est l'objet de cet exposé, ont été entreprises par deux physiciens différents, M. Dufour et M. Gernez; aucun d'eux n'a pensé à rapprocher ses résultats de ceux déjà obtenus par son émule; cependant nous espérons avoir montré que ces deux séries de travaux se complètent l'une l'autre et se prêtent un mutuel appui. Leur principal résultat est, suivant nous, de montrer que le changement d'état d'un corps est un phénomène qui n'est possible que dans certaines conditions de température et que la transformation moléculaire dont il résulte est provoquée par une cause autre que la chaleur. Les conditions dans lesquelles se produit ou cesse le suréchauffement des liquides, la sursaturation, ou la surfusion des solides sont en effet les mêmes. Pour mettre un terme à la première anomalie, il faut faire intervenir un corps gazeux ; pour détruire la seconde, c'est le contact d'un corps solide qui est indispensable.

Quant à la nature de l'action moléculaire qui détermine les changements d'état, elle est encore fort obscure.

G. Rayet.

III

NOTICE BIOGRAPHIQUE

FARADAY

La plus haute marque d'estime que notre Académie puisse décerner à un savant né hors de France est de l'appeler parmi ses associés étrangers, celui qui reçoit de ses pairs cette distinction,

enviée est mis par ce choix même au rang des plus grands. Michel Faraday était associé étranger de l'Académie ; sa renommée s'étendait au delà du monde scientifique, son nom était populaire, et c'est un devoir pour nous de rappeler quelques-uns des travaux de ce grand physicien, qui entre dans la postérité déjà couronné de cette auréole de gloire qui bien souvent ne s'attache au génie que longtemps après sa disparition de la scène du monde.

Faraday est né en 1791, à Newington, près de Londres. Son père était forgeron, maréchal-ferrant, et l'enfant fut d'abord placé comme apprenti chez un relieur ; bientôt le goût du savoir se révéla, il lut avidement et particulièrement les ouvrages scientifiques ; admirablement adroit, il s'essaya à construire quelques-uns des instruments usuels des physiciens, et y réussit ; enfin arriva cette occasion qui ne manque guère à ceux qui sont prêts à en profiter. Son maître parla des dispositions singulières du jeune apprenti à M. Dance, membre de l'Institution royale, qui lui facilita les moyens d'entendre les brillantes lectures de sir H. Davy.

On sait quel était leur succès ; et on devine quel enthousiasme excita, dans le cœur du jeune ouvrier, la parole entraînante, les expériences ingénieuses du grand chimiste anglais : Faraday rédigea les notes qu'il avait prises pendant ces leçons, et, animé d'une naïve confiance, les adressa à sir Humphry Davy, avec une lettre où il exposait son désir de s'engager dans une carrière dont sa vive imagination ne lui laissait entrevoir que les brillants aspects. Davy, sans prévoir qu'il allait donner à l'Angleterre un homme capable de se placer dans la science au moins à la même hauteur que lui, l'accueillit, et en 1813, Faraday était nommé préparateur à l'Institution royale[1].

Il sembla d'abord incliner vers l'étude de la chimie et ses premiers travaux sur les chlorures de carbone, sur le benzol et sur l'acier, laissent pressentir un remarquable talent d'expérimentation qui se dévoile bientôt tout entier dans le beau mémoire sur la liquéfaction des gaz (1821). En déterminant le dégagement

[1] Dans une excellente notice sur Faraday, placée en tête de l'*Histoire d'une chandelle*, M. Sainte-Claire Deville a donné le texte de la lettre de Davy.

des fluides élastiques dans de simples tubes de verre fermés, Faraday arrive non-seulement à liquéfier l'acide sulfureux et l'ammoniaque, mais aussi l'acide carbonique et le protoxyde d'azote. — Sans s'émouvoir des dangers que ces travaux lui font courir, Faraday indique seulement en passant, que les chimistes doivent se munir dans ces expériences de masques de verre et prendre quelques précautions, car les explosions sont fréquentes. On sait qu'aujourd'hui pour liquéfier, il est vrai, des quantités de gaz beaucoup plus considérables que ne le faisait Faraday, on n'emploie plus que des appareils en cuivre cerclé de fer; et que la liquéfaction de l'acide carboniqne faite il y a une trentaine d'années avec un appareil de fonte a coûté la vie à deux jeunes gens à l'École de pharmacie de Paris.

Parmi les travaux chimiques de Faraday, un des plus importants fut consacré à la fabrication du verre destiné aux usages de l'optique; il fit pénétrer dans sa composition la silice, l'acide borique et l'oxyde de plomb, et, fait bien digne de remarque, ce fut grâce à ce verre très-lourd, médiocrement transparent, et ne remplissant pas toutes les conditions désirables pour être employé par les constructeurs, qu'il fit plus tard une de ses plus brillantes découvertes : la rotation du plan de la lumière polarisée sous l'influence d'un courant magnétique.

Il rédigea, dès cette époque, un traité sur les manipulations chimiques qui, bien qu'écrit dans un style un peu confus, reçut du public un excellent accueil et fut bientôt épuisé.

En 1821, Faraday aborda l'étude de l'électricité et réalisa une curieuse expérience qui vint s'ajouter au brillant ensemble de decouvertes dues déjà à Œrstedt et à Ampère. Si dans un bain de mercure on place un barreau aimanté en le lestant au moyen d'un certain poids de platine, de façon qu'il reste vertical, puis qu'on fasse traverser le mercure par un courant électrique au moyen d'un conducteur placé au centre de la surface métallique, et d'un autre à la circonférence, on voit bientôt l'aimant se déplacer circulairement autour du conducteur central.

Les admirables travaux d'Ampère avaient établi les relations qui lient les phénomènes magnétiques à ceux de l'électricité dynamique; il était naturel de rechercher si on pouvait trouver dans les résultats auxquels donnent naissance les courants, quelques faits parallèles à ceux qu'on observe dans les phénomènes

d'influence qu'occasionne si souvent l'électricité statique. C'est à Faraday qu'il fut donné d'observer le premier ces effets d'*induction*, qui devinrent la base de tant d'applications ingénieuses.

Les lecteurs connaissent cette nouvelle branche de la physique entièrement due à Faraday[1]; ils savent que si on enroule deux fils conducteurs isolés sur une bobine, et qu'on ferme chacun des circuits, puis qu'on lance un courant dans l'un des fils, il se produira, au moment de son établissement, un courant de sens contraire de très-courte durée dans l'autre fil; si on interrompt le premier courant, ce sera alors un courant de même sens qui se produira. Ainsi, tant qu'un courant reste semblable à lui-même, il ne produit aucun phénomène d'induction, il n'agit qu'au moment où il s'établit, au moment où il cesse, c'est-à-dire pendant la seule période de sa variation d'intensité.

Une fois en possession du principe, la chaîne des découvertes se déroule comme par enchantement entre les mains de Faraday. il produit des courants par l'induction des aimants. Il en produit même à l'aide de courants établis et avec des aimants permanents, à la condition de faire varier brusquement la distance de ces courants ou de ces aimants, au circuit métallique qu'on veut induire.

Sans doute, entre la bobine d'induction construite par M. Rumkhorf, qui peut faire jaillir des étincelles de $0^{m}50$ qui percent des blocs de verre d'un décimètre et le premier appareil de Faraday, la distance est grande, mais cependant la machine usuelle employée aujourd'hui dans nombre d'industries, n'est que le développement régulier de la découverte du savant anglais.

Quand une découverte scientifique apparaît, on peut craindre parfois de se laisser aller à l'enthousiasme qu'elle excite, et un esprit sage attend pour asseoir un jugement impartial que le bruit des admirations passionnées se soit éteint en même temps que celui des critiques amères, — nous n'avons rien à craindre de semblable, les années se sont écoulées, le travail de Faraday, loin de disparaître dans l'oubli, qui atteint infailliblement les œuvres médiocres, engendre chaque jour une nouvelle conséquence et montre, par la grandeur des résultats auxquels il conduit, combien étaient fécondes les idées du physicien anglais.

[1] *Annuaire* de 1863, p. 50.

En 1824, il était devenu membre de la Société royale, et bien que Davy n'eût pas vu sans dépit les hommages des savants étrangers s'adresser à Faraday aussi bien qu'à lui-même dans un voyage sur le continent qu'ils firent vers 1820, il ne paraît pas avoir cherché à retarder l'entrée de son ancien élève dans la compagnie où sa place était marquée d'avance. En 1829, Faraday fut nommé professeur de chimie à l'Académie royale militaire de Wolwich, puis, en 1833, professeur à l'Institution royale où nous l'avons vu entrer vingt ans auparavant comme préparateur ; enfin, en 1835, le gouvernement lui accorda, à la recommandation de lord Melbourne, une pension de 300 livres par an.

Tous les travaux de Faraday sur l'électricité sont réunis dans trois volumes ; le premier publié en 1839, ne renferme pas seulement les recherches relatives à l'induction, on y rencontre encore les lois importantes des décompositions électro-chimiques ; Faraday reconnut que si on fait passer au travers de diverses dissolutions un courant électrique, les quantités des éléments positifs mis en liberté sont proportionnelles aux poids atomiques de ces éléments.

Dès lors, l'unité à l'aide de laquelle on pourra comparer entre eux les phénomènes électriques est trouvée ; on pourra déterminer quel travail est capable d'exécuter un courant en sachant la quantité d'hydrogène qu'il dégage de l'eau dans un temps donné. Là ne s'arrêta pas l'esprit investigateur de Faraday. Il voulut connaître à quel travail dépensé dans l'intérieur de la pile, correspondait le travail produit, et arriva à l'égalité entre les deux effets : pour un équivalent d'hydrogène dégagé dans le voltamètre, il y a un équivalent de zinc dissous dans la pile.

Le deuxième volume des *Recherches expérimentales* renferme les mémoires sur l'électricité de la gymnote et sur l'électricité développée par le frottement de l'eau et de la vapeur, sur des pointes de fer ; c'est dans ce mémoire que se trouvent indiqués les principes sur lesquels repose la machine Armstrong.

Faraday a inséré dans son troisième volume, qui a paru en 1855, son mémoire sur l'action de l'électricité, sur la lumière polarisée. C'est là, sans doute, le travail que la postérité jugera le plus important ; on sait que la tendance de la physique moderne est de rapporter tous les phénomènes calorifiques, lumineux, électriques, chimiques même, aux mouvements d'un fluide éthéré qui

remplit tout l'espace, et cette hypothèse féconde a reçu de Faraday un puissant appui ; jusqu'à lui, il était impossible de trouver le moindre lien entre les phénomènes lumineux et ceux qui touchent à l'électricité, et si l'hypothèse à laquelle tous les savants se rattachent aujourd'hui, apparaissait comme vraisemblable à quelques esprits sagaces, les preuves manquaient. Faraday en fournit une des plus éclatantes.

On sait que la lumière se propage par une série de vibrations perpendiculaires à la direction, au sens des rayons ; on sait encore que si on la projette sur une surface suivant certaines incidences, les vibrations n'ont plus lieu dans toutes les directions perpendiculaires au sens du rayon, mais qu'elles se réunissent dans une direction unique encore perpendiculaire à la direction du rayon. Si on veut prendre une comparaison grossière, on dira que dans un rayon de lumière naturelle les vibrations se produisent dans toutes les directions perpendiculaires aux plans du rayon comme les rais d'une roue divergent du moyeu, tandis qu'après la réflexion, la lumière *polarisée* ne suit plus qu'une direction unique : au lieu de se propager suivant tous les rais de la roue, elle n'en suit plus qu'un seul. Or qu'on fasse passer un rayon polarisé au travers d'un morceau de ce verre pesant, préparé plusieurs années avant par Faraday, après l'avoir introduit dans une bobine dont le fil est parcouru par un courant électrique, et cette électricité capable de transformer un fer doux en aimant, c'est-à-dire de réduire à une direction unique les courants particulaires qui existent dans le fer ; cette électricité, disons-nous, capable aussi d'agir sur les courants particulaires du milieu diaphane, déviera le plan de polarisation du rayon lumineux. Avant son passage au travers d'un milieu soumis à l'influence du courant, le *plan de polarisation* du rayon faisait un certain angle avec le plan vertical, après son passage il en fait un autre ; ainsi l'influence du courant sur le milieu diaphane change la direction du plan de polarisation. — La cause n'en est-elle pas que la lumière se propageant dans l'éther est affectée quand cet éther est lui-même animé d'un mouvement particulier, de même qu'un bateau ne se meut pas de la même façon sur un fleuve dont l'eau se déplace que sur un lac tranquille, de même les ondes lumineuses polarisées rencontrant l'éther mû régulièrement par l'électricité, ont dévié. Quand bien même le lecteur

n'aurait pas une idée précise de ces questions un peu délicates, il aura le sentiment que Faraday a découvert que l'électricité agit sur la lumière et qu'il a ainsi le premier donné une preuve remarquable de l'identité du fluide dans laquelle se propagent ces deux agents. Il faut remarquer encore que l'effet ne se produit que lorsque le centre de la bobine où l'on fait passer le rayon lumineux est occupé par un corps diaphane ; dans le vide, il n'y a plus rien de sensible. On sait, en effet, que l'électricité ne peut se mouvoir que dans l'éther associé à la matière, qu'elle ne se propage pas dans le vide.

Si les phénomènes d'induction découverts par Faraday en dehors de leur très-grand intérêt théorique ont donné naissance à un instrument remarquable par ses usages, de la découverte de l'action de l'électricité sur le plan du rayon polarisé, découlent, on le voit, des conséquences plus importantes encore, puisque ce travail mémorable a permis de poser une des assises sur laquelle nos successeurs élèveront la théorie de l'unité des forces physiques dont nous ne pouvons aujourd'hui que pressentir l'avénement.

En suivant les conséquences de l'expérience sur la rotation du plan de polarisation par l'influence magnétique, Faraday arrive à en tirer la conséquence générale que tous les corps peuvent se modifier sous l'influence magnétique, puisque tous ceux qui sont transparents acquièrent sous cette influence le pouvoir rotatoire. Il découvre bientôt que, sous ce rapport, tous les corps se partagent en deux classes ; ceux qui sont attirés à la manière des métaux magnétiques, le fer, le nickel, etc., et qu'il nomme corps paramagnétiques, et ceux qui sont repoussés, tels que le bismuth, l'antimoine, etc., et qu'il nomme diamagnétiques. Plus tard, il étend les mêmes résultats aux gaz, montrant que l'oxygène est magnétique et les autres gaz diamagnétiques. Ainsi l'action magnétique confinée jusqu'alors entre un oxyde et quelques métaux, devenait ainsi, entre les mains de Faraday, une propriété générale des corps.

MM. Becquerel ont donné de ces phénomènes une interprétation élégante, en admettant qu'un grand nombre de corps sont essentiellement magnétiques, et que le diamagnétisme n'est qu'un phénomène de réaction analogue à la poussée des liquides.

« Si vous plognez dans l'eau un corps léger, dit M. Radau

dans la remarquable notice qu'il a consacrée à Faraday dans la *Revue des Deux Mondes*[1], tel qu'une bouée, il montera vers la surface du liquide, quoique la gravité tende toujours à le faire descendre de haut en bas; c'est que la même force produit à l'intérieur du liquide une sorte de pression qui chasse la bouée de bas en haut. Un corps plus dense que l'eau ira au fond, parce que la force qui le fait tomber a plus d'énergie que la réaction inverse de la poussée. Dans l'air même, nous voyons les ballons monter, pendant que la plupart des corps tombent sur le sol si on les abandonne librement. On voit qu'il n'y a en réalité de corps *légers* que par rapport à d'autres corps qui le sont moins; tout dépend du milieu où ils se trouvent. En appliquant le même raisonnement aux phénomènes du diamagnétisme, on arrive à la conclusion suivante : tous les corps sont magnétiquement lourds, c'est-à-dire sollicités par une attraction plus ou moins sensible en présence d'un aimant; mais, plongés dans un milieu plus lourd qu'eux il nous paraîtront plus légers, c'est-à-dire qu'ils éprouveront, en définitive, une répulsion par suite de la poussée du milieu ambiant. » En poursuivant ce raisonnement jusque dans ses dernières limites, on arrivait à cette conclusion que le vide devait être magnétique, puisqu'on pouvait y observer les phénomènes diamagnétiques ; mais on n'a plus besoin de recourir à une hypothèse qui répugne à l'esprit, depuis qu'on sait par les expériences de Reich, de Weber et particulièrement de Tyndall, qu'il se développe dans les corps diamagnétiques des pôles inversement placés de ceux qui apparaissent dans un corps simplement magnétique.

On sait que si entre les deux branches d'un aimant en fer à cheval, on place un morceau de fer doux, il se développera un pôle boréal à l'extrémité voisine du pôle austral de l'aimant, et réciproquement. Le fer doux est donc attiré et il se dirige suivant la ligne qui joint les deux pôles de l'aimant, tandis que le bismuth prend une position perpendiculaire à la précédente, puisque les pôles qui apparaissent sont de même nom que ceux de l'aimant et doivent être repoussés.

En dehors de l'électricité, Faraday a observé nombre de faits

[1] N° du 15 octobre 1867

curieux et notamment celui du regel, dont M. Tyndall devait plus tard tirer un si brillant parti dans la théorie des glaciers.

Faraday fut nommé associé étranger de l'Académie en 1844, il succédait à Dalton ; la grande position scientifique à laquelle il était arrivé ne lui avait rien enlevé de sa grâce et de sa bonté ; on rapporte de lui plusieurs traits qui montrent que son cœur était aussi élevé que son esprit. En 1851, au moment de la première exposition internationale, Ebelmen étant à Londres, Faraday le convia à l'une des séances de l'Institution royale, le fit asseoir à ses côtés, puis choisit gracieusement pour sujet de sa leçon l'exposé des travaux de notre compatriote sur la formation artificielle des pierres précieuses. Chez Faraday cependant, la grâce, l'amabilité ne dégénéraient pas en faiblesse. « J'ai vu, dit M. H. Sainte-Claire Deville[1], dans le laboratoire de l'Institution royale, les hommes d'État les plus illustres de l'Angleterre, se rendant auprès de M. Faraday et l'abordant avec cette respectueuse familiarité qui indique l'estime réciproque et les habitudes d'une égalité parfaite. Un jour, j'y ai assisté à un entretien remarquable où Michel Faraday avait pour interlocuteur le regrettable prince Albert. La courtoisie de mon hôte avait fait tenir cette conversation en français : il m'est impossible d'exprimer ici l'admiration que j'ai éprouvé pour l'illustre savant et son auguste visiteur. Celui-ci, dans un langage plein de sens et de modération, où toutes les délicatesses de notre langue le servaient à merveille, préconisait notre système de l'enseignement par l'État. M. Faraday soutenait avec une douce mais inflexible énergie, le système anglais de la liberté absolue. J'en conclus qu'un prince si sage et si sagement conseillé, devait rarement persister dans une erreur. »

Jamais une lettre écrite à Faraday ne restait sans réponse, et l'un de ses biographes assure que, consulté par un jeune savant sur le secret de ses succès constants, il répondit : « Le secret se résume en trois mots : travailler, terminer, publier. »

Faraday continua son enseignement à l'Institution royale jusqu'en 1861, il sentit à ce moment que le temps de la retraite était arrivé, et voici dans quels termes touchants il annonçait à

[1] Notice sur Michel Faraday, *Histoire d'une chandelle.*

l'auditoire qui le suivait avec une respectueuse sympathie sa résolution de se retirer.

« L'affaiblissement graduel de ma mémoire et de mes autres facultés se manifeste péniblement à moi et il m'a fallu le souvenir de votre bienveillance pour accomplir ma tâche jusqu'au bout. S'il m'arrive de professer trop longtemps ou de manquer à ce que vous attendez de moi, n'oubliez pas que c'est vous qui avez voulu me retenir à mon poste. J'ai désiré me retirer de l'arène, ainsi que doit le faire tout homme dont les facultés baissent ; mais j'avoue que l'affection que j'ai pour cette salle et pour ceux qui la fréquentent est telle, que j'ai de la peine à reconnaître que l'heure de la retraite a sonné. »

On conçoit au reste que ce ne fut pas sans un amer chagrin qu'il renonça à cette chaire qu'il avait illustrée ; soutenu par un auditoire suspendu à ses lèvres, il savait faire sortir les considérations les plus élevées des questions en apparence les plus modestes ; non-seulement Faraday avait un rare talent de parole, mais il expérimentait avec la plus admirable habileté, rien n'était plus instructif que de le voir manier ses instruments ; il n'était jamais pris au dépourvu, si une expérience présentait quelque circonstance particulière, il en tirait une nouvelle source d'instruction, et si elle manquait, il voyait immédiatement la cause de la non-réussite et savait y porter remède.

Faraday termina sa vie glorieuse le 25 août 1867, il avait soixante-seize ans.

« Nous n'avons pas, comme en France, dit un de ses biographes [1], de laboratoire public où les étudiants poursuivent gratuitement leurs recherches ; quel monument plus digne du grand homme que nous venons de perdre pourrait-on consacrer à sa mémoire que de créer un établissement semblable qui prendrait le nom de « laboratoire de Faraday. »

Faraday était marié, mais il n'a pas laissé d'héritier à qui il pût transmettre son nom glorieux. N'est-ce pas le cas de répéter avec Condorcet [2] : « Les véritables aïeux d'un homme de génie sont les maîtres qui l'ont précédé dans la carrière, et ses vrais descendants sont les élèves dignes de lui qu'il a formés ? »

P.-P. Dehérain.

[1] *The Chemical news*, august 30, 1867.
[2] Éloge de d'Alembert.

IV

LA LUMIÈRE, SES CAUSES ET SES EFFETS

PAR M. ED. BECQUEREL [1].

Le volume de M. Becquerel n'est point un traité d'optique dans le sens ordinaire du mot. Un ouvrage de cette nature, qui traiterait au double point de vue de l'expérience et du calcul des propriétés de la lumière, devrait, pour être complet, se composer de bien des volumes, et, au degré de développement où sont parvenues les théories de Fresnel, sa rédaction exigerait certainement le concours de plusieurs savants. M. Ed. Becquerel s'est renfermé dans un cadre plus restreint. Le sujet de son ouvrage est « l'exposé des principaux faits concernant le production de la lumière, ainsi que l'influence que les rayons lumineux exercent sur les corps. »

Les premières pages sont consacrées à l'étude des effets lumineux produits par les actions moléculaires : frottement, percussion, cristallisation, chaleur et étincelle électrique. Les paragraphes relatifs à la mesure de la température des corps à l'aide des phénomènes d'irradiation, et à la photométrie sont particulièrement remarquables.

Abordant ensuite l'étude des rayons lumineux émis par les corps incandescents, le savant professeur du Conservatoire des arts et métiers résume d'une manière très-intéressante nos connaissances sur l'analyse spectrale et sur les phénomènes d'incandescence produits par le passage des décharges électriques au travers des gaz raréfiés. Le meilleur éloge que l'on puisse faire de ces chapitres est de dire qu'ils sont au courant des travaux les plus récents.

En lisant toute cette partie de l'ouvrage de M. Becquerel, partie que les paragraphes sur l'analyse spectrale et la photométrie rendaient particulièrement intéressants pour nous, car ils touchent aux questions d'astronomie physique, on sent que c'est par une concession au titre de son ouvrage que le savant physicien a traité

[1] Tome Ier, *Sources de lumières.*

de ces matières ; son but principal est l'étude des phénomènes si singuliers de la *phosphorescence* ou de la *fluorescence*, suivant l'expression des Anglais et des Allemands.

La phosphorescence est la propriété, inhérente à certaines substances naturelles ou artificielles de devenir des sources lumineuses tout en restant à une basse température. La lumière qui se produit alors, lumière plus ou moins vive et diversement colorée, suivant des circonstances difficiles à préciser, est analogue à celle du phosphore s'oxydant dans l'air humide. Les anciens ont peut-être connu quelques minéraux phosphorescents ; mais en 1602 seulement la préparation de la pierre de Bologne (sulfure de baryum), par Vincenzo Casciorolo, montra la possibilité de réaliser une substance capable de produire les effets attribués à la très-fameuse escarboucle. Plus tard, en 1663, Boyle découvrit la phosphorescence du diamant par l'action de la chaleur. Depuis cette époque, Homberg, Bernouilli et Cassini fils, Haüy, Dessaignes, Margraff, Canton, Gœthe ont étudié avec soin les diverses circonstances de la phosphorescence, et préparé la voie aux travaux si remarquables de M. Becquerel sur cette importante question de physique moléculaire.

Les corps qui, exposées pendant quelque temps à l'action des rayons du soleil ou de toute autre source lumineuse intense, jouissent de la propriété de luire quelque temps dans l'obscurité, sont fort nombreux. Par l'emploi du *phosphoroscope* (décrit pour la première fois en 1861), M. Ed. Becquerel a retrouvé cette propriété dans un très-grand nombre de substances minérales, naturelles ou artificielles. Les plus lumineuses entre toutes sont les sulfures, et surtout les sulfures alcalino-terreux. Quelques corps restent phosphorescents pendant 36 heures, d'autres seulement pendant moins de $\frac{1}{10000}$ de seconde.

Il n'y a d'ailleurs aucune relation entre la nature de la lumière active et celle de la lumière émise ; mais cette dernière est toujours moins réfrangible que la première ; par l'action des corps la vitesse de vibration a été diminuée. L'action temporaire de la chaleur tend à diminuer et même à anéantir la propriété phosphorescente.

Un même corps, de même composition chimique, mais préparé d'une manière différente, peut présenter des effets lumineux variables d'intensité et de nature. Les masses phosphorescentes con-

servent un reflet de la constitution physique de la matière à laquelle elles doivent leur origine.

La lumière des corps phosphorescents donne des spectres sillonnés de bandes lumineuses ou obscures, et la position de ces bandes dépend de leur nature et non de leur état physique, qui fait seulement varier l'intensité de la lumière émise. Dans les circonstances où se font les observations, la lumière émise par les corps en vertu de leur action propre ne traverse que la très-faible couche d'air qui les sépare de l'observateur ; il faut donc, si ces raies sont dues à une absorption de rayons, que cette absorption ait lieu dans l'épaisseur même de la couche solide d'où émane la lumière, à moins qu'elles n'indiquent simplement une absence d'émission lumineuse. Dans tous les cas, on voit que de la lumière provenant de corps autres que des masses solides lumineuses enveloppées de vapeurs ou des masses gazeuses incandescentes peut donner des spectres à bandes noires ou brillantes.

Quelle est d'ailleurs la cause, au moins le mécanisme, de la phosphorescence? Nous l'avons en vain cherché dans le volume de M. Becquerel. Cependant s'il est un physicien capable d'interpréter un phénomène aussi complexe, c'est certainement celui qui depuis 1841 fait de ce sujet une étude de chaque jour[1].

G. R.

V

ON SOUND

SÉRIE DE HUIT LECTURES FAITES A LA SOCIÉTÉ ROYAL D'ANGLETERRE PAR JOHN TYNDALL[2].

Paris et Londres ont leurs soirées scientifiques hebdomadaires ; mais dans les deux capitales ce mode d'enseignement est loin d'avoir le même caractère. A Paris, les éloquents professeurs de

[1] Voyez *Annuaire scientifique* de 1862, — *La phosphorescence*, travaux de M. E. Becquerel, par M. E. Saint-Edme.

[2] Londres, Longmans, Green et Cie, 1867.

notre Faculté ou de nos Lycées se sont donné la tâche d'éblouir les auditeurs; ils ont entassé sur leur chaire de nombreux appareils, fait de magnifiques expériences. A la Sorbonne, pas de leçon sans lumière électrique. Les sujets intéressants, j'entends ici ceux qui prêtent aux brillantes expériences, ont été épuisés dès les premières soirées, et aujourd'hui, les personnes à qui incombe le devoir d'amuser le public cherchent en vain un coin de la science dont le côté expérimental saillant n'ait pas encore été mis en évidence. Les auditeurs de la Sorbonne retirent-ils quelque profit sérieux des leçons qu'ils sont venus entendre, et peut-être seulement voir? Il est permis d'en douter.

A l'Institution Royale de Londres, les choses sont autrement comprises, et l'auditoire d'élite qui se presse chaque vendredi dans son amphithéâtre en emporte des notions exactes sur quelque point de la science. Les professeurs ne craignent pas d'aborder des sujets dont le développement exige plusieurs leçons : il leur suffit d'avoir chaque jour un petit nombre d'expériences, et ils ne cherchent point à signaler en une heure les propriétés les plus remarquables des *quatre éléments*.

Les lectures du vendredi à la Société Royale nous ont déjà valu la publication de plusieurs ouvrages intéressants : l'*Histoire d'une Chandelle*, par Faraday[1] ; *la Chaleur, considérée comme un mode de mouvement*, par Tyndall[2] ; et voici encore un nouveau volume, *le Son*, dont le succès sera au moins égal à celui de ses aînés.

J'ai cherché, dit M. Tyndall dans sa préface, à rendre la science de l'acoustique intéressante pour toute personne intelligente, même pour celles qui n'ont aucune culture scientifique spéciale. Aussi le sujet est-il surtout traité au point de vue expérimental. Les démonstrations purement mathématiques ont partout été éloignées avec soin, et tout raisonnement trouve immédiatement sa vérification dans une expérience. Le choix toujours heureux de ces « *experimental illustrations* » est un des caractères les plus saillants de l'enseignement de M. Tyndall, et dans cet art émi-

[1] Traduit en français par M. H. S. C. Deville, de l'Institut.

[2] Traduit en français par l'abbé F. M. Moigno. Paris 1864. Étienne Giraud. — Voyez *Annuaire scientifique de* 1865. — *Chaleur solaire et forces terrestres*, par P.-P. Dehérain.

nemment utile à un professeur, nous ne lui connaissons aucun rival.

On Sound est un traité complet d'acoustique; nos principales connaissances sur cette partie importante de la physique y sont exposées avec clarté et précision. Nous ne pouvons résumer ici ce volume, dont le plan est peu différent de ceux qui servent à notre enseignement classique. Sa lecture a rectifié pour nous certaines données historiques, et nous croyons utile de faire connaître ces corrections.

L'expérience de la roue dentée de Savart montre que des chocs répétés à des intervalles égaux et très-courts donnent un son musical, quoique chacun d'eux n'ait aucun caractère harmonique. La première démonstration de ce fait doit être attribuée au docteur Hooke. On lit, en effet, dans la vie de ce physicien, publiée en 1705 par Richard Waller, secrétaire de la Société Royale, le passage suivant : « Le 27 juillet 1681, le docteur Hooke montra une manière de produire des sons musicaux ou autres par le choc des dents de plusieurs roues de cuivre découpées de manière à offrir des rapports simples entre les nombres de leurs dents, et animées d'un mouvement de rotation très-rapide. Pour des chocs en même nombre, ou entre eux comme 1, 2, 3 et 4, on obtenait des sons musicaux, mais les chocs inégaux des dents imitaient seulement le bruit de la voix. »

L'idée première de la syrène, c'est-à-dire d'un instrument donnant un son musical par les interruptions rhythmiques d'un courant d'air, est aussi due à un physicien anglais du nom de Robison. Son appareil se composait d'un disque percé de trous qui tournait devant un tuyau par lequel s'échappait un courant d'air rapide. Cagnard-Latour a ajouté à cet instrument primitif le compteur, et aussi la disposition particulière des ouvertures qui permet au plateau de la syrène de se mettre lui-même en mouvement.

Dans sa leçon sur les vibrations transversales des verges, M. Tyndall nous apprend également que la découverte de la division en plusieurs segments d'une corde qui donne un son harmonique a été faite en 1676 à Oxford, par Noble et Pigott, et ne doit plus être attribuée à Sauveur.

Nous traduirons encore ici, à titre de document historique, la page où Chladni raconte comment il a été amené à imaginer le

procédé par lequel on rend visibles les nœuds et les ventres des tiges ou des plaques vibrantes : « En qualité d'admirateur de la musique, dont j'ai commencé assez tard (dans ma vingtième année) à apprendre les éléments, je remarquai que la science de l'acoustique était beaucoup plus négligée que la plupart des autres parties de la physique. Cela excita en moi le désir de perfectionner ce qui était défectueux, et de rendre, par de nouvelles découvertes, quelques services à cette partie de la science. En 1785, j'avais observé qu'une plaque de verre ou de métal donnait des sons différents quand elle était frappée à des places variables, mais je ne pouvais trouver aucun renseignement sur les modes correspondants de vibrations. A cette époque parut dans les journaux une notice sur un instrument construit en Italie par l'abbé Mazzochi, et formé de cloches, contre lesquelles étaient appuyés un ou deux archets. Cela m'inspira l'idée d'employer un archet pour étudier les vibrations de différents corps sonores. En appliquant l'archet contre une plaque de verre ronde et fixée en son milieu, j'obtins des sons dont les hauteurs, eu égard au nombre des vibrations, étaient entre elles comme le carré des nombres 2, 3, 4, 5, etc. ; mais la nature des mouvements auxquels ces sons correspondaient et le moyen de les produire à volonté m'étaient toujours inconnus. L'expérience de Lichtemberg sur les figures électriques formées sur une plaque de résine, me fit présumer que les différents mouvements vibratoires d'une plaque sonore pourraient aussi présenter diverses apparences, si l'on répandait sur la plaque du sable ou une substance semblable. La première figure qui, grâce à l'emploi de ce moyen, s'offrit à nos yeux sur la plaque circulaire déjà mentionnée, ressemblait à une étoile à dix ou douze rayons, et le son le plus aigu, dans la série dont il s'agit, était celui qui correspondait au carré du nombre des lignes diamétrales. »

Après ces documents historiques importants pour l'histoire de l'acoustique, nous signalerons à l'attention des lecteurs de l'*Annuaire* la sixième des leçons de M. Tyndall, dont le sujet, les flammes chantantes, est peu connu en France. Ces effets, dont la théorie est analogue à celle des résonnateurs d'Helmholtz, ont été successivement observés, en 1777, par le docteur Higgins ; en 1802, par Chladni et G. de la Rive ; en 1818, par Faraday ; et, enfin, vers 1857, par le comte Schaffgotsch. D'après les expériences

du docteur Lecomte et de M. Barret (1867), les flammes vibrent soit lorsqu'on les renferme dans un tube, soit lorsqu'elles sont produites à l'air libre. Dans ce dernier cas, les expériences donnent des résultats analogues à celles de Savart sur les veines liquides; mais elles sont infiniment plus faciles à reproduire, surtout dans une salle de cours, où l'on dispose toujours d'un bec de gaz, tandis qu'il est impossible d'y établir des réservoirs d'eau considérables.

L'acoustique de M. Tyndall est au courant des récents travaux exécutés en Allemagne, et renferme beaucoup d'emprunts aux mémoires de M. Helmholtz[1]. On y retrouve notamment la théorie du timbre, que nous avons exposée dans la cinquième année de l'*Annuaire*.

En résumé, le livre de M. Tyndall est un brillant exposé d'une partie intéressante de la science, et, s'il ne nous apprend rien de bien essentiellement nouveau, il a le mérite très-rare d'exposer clairement, avec tous les détails utiles, l'état actuel de nos connaissances. Ceux qui, comme nous, en feront une lecture attentive, seront certainement séduits par le charme de cette exposition familière, mais toujours élégante.

G. R.

[1] Une traduction par MM. Guéroult et Wolf de la *Théorie physiologique de la musique*, par H. Helmholtz, paraîtra en 1868, chez Victor Masson. — Voyez aussi sur cette question un ouvrage remarquable de M. Laugel, *Le son, la voix et la musique*, chez Germer Baillère.

CHIMIE

I

LE SILICIUM

A PROPOS DES TRAVAUX RÉCENTS DE M. FRIEDEL.

La classification des corps simples en familles naturelles. — Famille du carbone, du silicium et du bore. — Travaux de MM. Wöhler et Deville sur le silicium cristallisé et graphitoïde. — Découverte de l'hydrogène silicié. — Travaux récents de M. Friedel. — L'atomicité des éléments. — La chimie organique du silicium.

Les esprits chagrins qui aiment à saisir les inconséquences et les fautes ont beau jeu quand ils parlent des classifications encore adoptées dans l'enseignement de la chimie. Tandis que les corps simples non métalliques sont fortement groupés en quatre familles naturelles, les métaux sont réunis par le lien purement artificiel qu'avait choisi Thénard il y a une cinquantaine d'années. La séparation des métaux en six classes d'après l'affinité qu'ils présentent pour l'oxygène est tout à fait surannée et les progrès de la science viennent à chaque instant montrer les faibles de cet arrangement. Depuis qu'on a obtenu l'aluminium en quantités notables, on a reconnu qu'il ne décompose pas l'eau, qu'il est très-difficile à brûler, et on serait conduit à le réunir aux métaux précieux, tandis que si on examine l'ensemble de ses propriétés au lieu de s'en tenir à un seul caractère, on reconnaît qu'il faut le placer auprès du fer.

La découverte du thallium[1] est venue jeter le désarroi dans la classe des métaux alcalins ; si le nouveau venu présente des caractères qui ne permettent aucun doute sur sa parenté, il ne décom-

[1] Voy. *Ann. scientifique*, 1863, p. 87.

pose pas l'eau à froid comme le potassium et le sodium, et par suite ne peut pas être mis à côté d'eux si on conserve la classification actuelle. Une réforme est donc indispensable et il semble que déjà la science est assez avancée pour qu'un essai sérieux puisse être tenté. C'est là une œuvre qui revient de droit aux chimistes de l'École normale qui, depuis quelques années, ont tant ajouté à nos connaissances sur les métaux.

Le succès incontestable qu'a obtenu la classification des métalloïdes les décidera peut-être à tenter cette entreprise difficile et délicate qui, comme toutes les réformes, leur procurera plus de critiques que de louanges. Il est remarquable, en effet, que tous les travaux qui ont été faits depuis quelques années sur les corps simples non métalliques sont venus confirmer avec éclat les prévisions émises il y a plus de trente ans.

Il n'était pas difficile, même à cette époque, de reconnaître que le chlore, le brome et l'iode devaient être réunis; mais aussitôt qu'on voulait placer le soufre à côté de l'oxygène on rencontrait une grosse difficulté. En effet, tandis que deux volumes de vapeur d'eau sont formés de deux volumes d'hydrogène unis à un volume d'oxygène, on trouvait dans deux volumes d'hydrogène sulfuré, deux volumes d'hydrogène et un tiers de volume de vapeur de soufre; ces deux corps par conséquent n'étaient pas construits de même et les esprits rebelles aux rapprochements pouvaient affirmer de bonne foi que les dissemblances ne le cédaient en rien aux analogies. — On ne tint pas compte de cette difficulté et on fit bien, car, il y a peu d'années [1], on reconnut que cette anomalie choquante était due à un fait impossible à prévoir. La vapeur de soufre éprouve, à une température élevée, un accroissement de volume singulier et devient précisément le tiers de ce qu'elle était à 500° température à laquelle on avait déterminé son poids et qu'à 1000° elle prend précisément la valeur qu'elle devait avoir pour que l'hydrogène sulfuré présentât une constitution moléculaire analogue à celle de l'eau. — A coup sûr, il était hardi de placer à côté l'un de l'autre l'azote et le phosphore. Les ressemblances étaient faibles; et cependant la découverte des ammoniaques composées et des phosphines devait bientôt montrer que ce rapprochement était excellent. Enfin, le silicium, le bore et le

[1] Voy. *Ann. scientifique*, 1862, p. 90.

carbone, qui forment la quatrième famille, ne présentaient guère de caractères communs, quand les travaux de MM. Wöhler et Deville ont montré des ressemblances très-inattendues dans les propriétés physiques de ces trois corps simples ; quand enfin les recherches de M. Wöhler, puis celles plus récentes de M. Friedel sont venues compléter les rapprochements, en démontrant que le silicium est susceptible de fournir quelques composés très-voisins des substances carbonées que la synthèse sait produire aujourd'hui et qui dérivent aussi des matières végétales.

Nous n'avons pas l'intention de rappeler ici les travaux de MM. Wöhler et Deville sur les propriétés physiques du silicium et du bore, ils sont aujourd'hui classiques et tous les traités de chimie répètent que le bore et le silicium comme le carbone peuvent être observés à l'état cristallisé et qu'ils se séparent de leur combinaison sous forme de poudre amorphe, tout comme le carbone existe à l'état de diamant et de noir de fumée ; mais un travail de M. Wöhler sur la combinaison du silicium avec l'hydrogène est moins connu et doit nous arrêter quelques instants.

En 1857, MM. Wöhler et Büff remarquèrent que si on faisait passer, au moyen d'un électrode d'aluminium, un courant électrique au travers d'une dissolution de sel marin, il se dégageait au pôle négatif un gaz spontanément inflammable, brûlant à l'air avec éclat en produisant parfois des couronnes blanches analogues à celles qu'on obtient si facilement quand on fait brûler de l'hydrogène phosphoré ; on reconnut bientôt que ce gaz inflammable était d'autant plus abondant que l'aluminium employé était plus riche en silicium ; enfin en examinant les produits de la combustion, on caractérisa le silice quand la combustion était complète et le silicium brun et amorphe quand on plaçait une soucoupe devant la flamme du gaz. Dans tous les cas enfin il se produisait de l'eau de façon qu'il ne fût pas douteux que le gaz nouveau était formé d'hydrogène et de silicium et devait prendre le nom d'hydrogène silicié. Il ne fut pas possible toutefois de déterminer rigoureusement la formule de ce composé, car on ne l'obtint jamais que mélangé avec une proportion assez notable d'hydrogène[1].

Un peu plus tard[2] M. Wöhler reconnut qu'il était possible d'ob-

[1] *Annales de chimie et de physique*, t. LII, 1858.
[2] *Idem*, t. LIV, 1858.

tenir l'hydrogène silicié en décomposant par l'acide chlorhydrique du siliciure de magnésium; et une circonstance heureuse lui permit de prévoir que la formule du composé était probablement SiH^2.

D'autre part, M. Wöhler avait encore obtenu des composés nouveaux du silicium : en faisant passer un courant d'acide chlorhydrique gazeux sur du silicium cristallisé, on produit un chlorure qui, décomposé par l'eau, fournissait une nouvelle combinaison oxygénée. M. Wöhler, au reste, n'était pas arrivé à obtenir complétement pur le nouveau chlorure et on n'était pas complétement fixé sur sa composition quand MM. Friedel et Ladenburg sont arrivés, en préparant des quantités notables du produit découvert par M. Wöhler, à obtenir parfaitement pur le nouveau chlorure ; il correspondrait parfaitement à la formule $SiCl^3H$ si on prend pour le silicium le poids atomique 28.

Toutes les personnes qui ont suivi un cours de chimie se rappellent que le chloroforme, ce merveilleux liquide qui donne au malade qui va subir une opération chirurgicale une complète insensibilité, que le chloroforme disons-nous présente la composition CCl^3H ($C = 12$). Voici donc deux composés renfermant l'un du silicium et l'autre du carbone et qui présentent des constitutions semblables ; le chlorure, de silicium analogue au chloroforme, traité convenablement, a donné naissance à un composé d'où on a extrait enfin l'hydrogène silicié pur, qui a présenté la composition SiH^4 semblable par conséquent à celle du gaz des marais CH^4, M. Wöhler avait émis l'idée que la série des composés qu'il avait fait connaître pouvait être considérée comme constituée à la manière des composés organiques ; le silicium y jouait le rôle du carbone, et il faut reconnaître que les recherches de MM. Friedel et Ladenburg établissent clairement cette analogie et qu'ils sont peut-être sur la voie de la formation d'un grand nombre de composés nouveaux. L'hydrogène silicié qu'ils ont obtenu n'est pas cependant le plus favorable à la formation des composés plus complexes ; c'est, suivant l'expression actuelle, un composé saturé et qui n'est pas susceptible de polymérie ; et les chances de pénétrer dans un réseau de combinaisons multiples du silicium analogues à celles du carbone seraient plus grandes si on avait découvert un composé de la forme Si^2H^4 par exemple, analogue au gaz oléfiant C^2H^4, qui serait susceptible de se compliquer en se combinant à lui-même.

Nous avons déjà, l'an dernier, insisté[1] sur les conditions de la polymérie, mais nous voudrions, à propos des travaux de M. Friedel, revenir sur une théorie professée aujourd'hui par l'école de M. Wurtz, dont M. Friedel est un des plus brillants élèves, et un des plus fermes soutiens. — D'après cette théorie, les atomes des corps simples ont certaines tendances à se combiner avec un nombre déterminé d'atomes des autres corps; on le verra immédiatement en examinant quelques combinaisons gazeuses; on se rappelle que l'acide chlorhydrique est formé par l'union d'un volume de chlore et d'un volume d'hydrogène. Si on admet que dans tous les volumes de gaz il y ait le même volume d'atomes, ce que les lois sur la dilatation et sur la pression nous permettent de supposer, on concluera qu'un atome de chlore s'unit à un atome d'hydrogène, en d'autres termes le chlore et l'hydrogène seront l'un et l'autre monoatomiques. On sait que l'eau et l'hydrogène sulfuré sont formés par l'union d'un volume d'oxygène ou de vapeur de soufre avec deux volumes d'hydrogène; l'atome d'oxygène et celui de soufre s'uniront donc à deux atomes d'hydrogène et ils seront considérés comme diatomiques. On remarquera encore qu'un volume d'azote s'unit à trois d'hydrogène pour former l'ammoniaque, que par suite l'azote est triatomique. Enfin le carbone ou le silicium dans le gaz des marais et dans l'hydrogène silicié sont unis avec quatre volumes d'hydrogène et sont dès lors considérés comme tétra-atomiques. Dans ces idées, le poids atomique de chacun des corps simples est proportionnel à sa densité et si nous prenons comme point de départ, l'atome d'hydrogène égal à l'unité, nous avons pour celui de l'oxygène 16, pour celui de l'azote, 14; 12 et 28 seront enfin ceux du carbone et du silicium.

L'école de M. Wurtz tire un parti très-ingénieux de l'idée de l'atomicité des éléments; qu'il faille expliquer par exemple que le gaz des marais n'est pas susceptible de se combiner par addition, tandis qu'il en est tout autrement du gaz oléfiant, et elle y réussit sans peine. Dans les gaz des marais formulé CH^4 (puisque C représente 12 et non 6, ainsi qu'on l'admet habituellement), on voit que chacune des affinités du carbone tétratomique est satisfaite, est saturée, par une affinité d'hydrogène, on ne peut rien ajouter;

[1] *L'origine des pétroles*, voy. *Annuaire* de 1867.

aussi le gaz des marais ne se combine-t-il directement avec aucun corps, il ne peut être attaqué que par substitution, c'est-à-dire qu'un corps simple ne pourra s'y ajouter qu'en remplaçant une des molécules d'hydrogène ; il en est tout autrement du gaz oléfiant C^2H^4. En effet, on conçoit que ce composé puisse être formé de deux molécules de CH^2 dans lesquelles le carbone aura encore deux affinités libres. Or l'une de ces deux affinités dans chacun des groupes sera utilisée pour souder les deux atomes de carbone l'un à l'autre, et il ne restera plus alors que deux affinités libres à saturer; deux atomes du chlore pourront donc se fixer sur cette molécule complexe pour donner la liqueur des Hollandais; du brome, de l'iode ou de l'hydrogène, s'ajouteront directement à ce corps incomplet qui pourra, contrairement à ce que nous disions pour le gaz des marais, être modifié par addition. On conçoit même que sur ces deux branches restées libres puissent venir s'ajouter une molécule de C^2H^4, qui, ayant deux affinités libres, permettra à une autre molécule nouvelle de se fixer sur elle, ce corps-là présentera donc une constitution particulièrement favorable à la polymérie.

Il est certain que l'idée de la polyatomicité du carbone rend compte heureusement de la tendance que présente cet élément à donner des combinaisons de plus en plus complexes ; on conçoit que l'une des atomicités soit employée à fixer un nouvel atome de carbone, tandis que les autres pourront prendre d'autres éléments.

M. Hoffmann a, l'an dernier, imaginé une méthode ingénieuse pour faire saisir ces alliances des atomes doués de différentes atomicités. Dans une leçon publique qu'il devait faire devant un public peu habitué à ces considérations délicates, il eut l'idée de représenter par des boules de différentes couleurs, armées de bras plus ou moins nombreux, les atomes des différents corps simples susceptibles de contracter des combinaisons plus ou moins complexes. — Les atomes d'hydrogène sont représentés par de petites boules blanches armées d'un seul bras ; les boules de l'ardent oxygène sont rouges et armées de deux bras, puisque nous le considérons comme diatomique ; les boules bleues à trois bras représentent l'azote ; enfin les boules noires à quatre bras figurent le carbone tétratomique.

Qu'aux deux bras de la boule rouge on ajoute les boules blan-

ches de l'hydrogène, et on aura une représentation de l'eau, aucun bras n'est libre, le corps est saturé ; qu'on enlève une des boules blanches et qu'on la remplace par une boule violette armée également d'un seul bras que nous supposerons représenter le potassium monoatomique, et dans cette substitution on aura une représentation du phénomène qui se produit quand on jette un morceau de potassium dans l'eau et qu'on obtient l'hydrate de potasse formulée dans les nouvelles idées KHO et provenant de la substitution du potassium à l'hydrogène de l'eau. — Le gaz ammoniac sera représenté par la boule bleue armée sur ses trois bras des boules d'hydrogène ; enfin, on aura une représentation du gaz des marais en fixant aux quatre bras de la boule noire les appendices des quatre boules d'hydrogène ; ici encore la molécule est saturée ; mais qu'on enlève une des boules blanches et qu'on y substitue une nouvelle boule noire dont un seul bras sera armé d'une boule blanche, et on aura une représentation du gaz oléfiant non saturé, puisque deux bras sont encore inoccupés. Chacun d'eux reçoit-il une boule à un seul bras, verte comme le chlore, et on représentera la liqueur des Hollandais. Qu'après avoir fixé à l'un des bras libres une molécule blanche d'hydrogène, on ajoute à l'autre une boule rouge et celle-ci nécessitera encore l'addition d'une boule, car l'oxygène biatomique a deux appendices, dont un seul est utilisé ; qu'on remplisse cette place vide avec de l'hydrogène et on aura ainsi représenté la belle synthèse de M. Berthelot qui, en fixant de l'eau sur le gaz oléfiant, est parvenu à obtenir l'alcool.

Il serait aisé de critiquer ces représentations systématiques. La loi de Dalton sur les proportions multiples nous enseigne que deux corps peuvent se combiner en plusieurs proportions qui sont multiples exacts les unes des autres, et celle-là s'accorde mal avec l'idée de l'atomicité des éléments. Notre science est trop peu avancée pour que nous pensions avoir d'autre prétention que celle de nous figurer une représentation provisoire des phénomènes qni embrasse tous les cas connus et nous permette d'en prévoir d'autres. — Or, si j'avais à présenter à des jeunes gens les petites boules de M. Hoffmann, je m'en servirais avec plaisir dans le cas que j'ai décrit tout à l'heure, mais j'aurais quelque peine à faire comprendre à mon auditoire que l'azote triatomique dans le gaz ammoniac, devient pentatomique dans

le sel ammoniac. La représentation matérielle de l'atome avec ses bras me gênera pour comprendre la loi des proportions multiples qui reste le grand fait dominant de la chimie.

On peut toutefois envisager ces considérations atomiques à un autre point de vue. Si on n'a plus la prétention d'atteindre l'essence même des choses, mais d'utiliser une observation déduite de l'étude d'un grand nombre de cas particuliers et qu'on me dise : en général, un atome de carbone (12) ou de silicium (28) se combinent avec quatre atomes d'un autre corps simple, je reconnais là un fait expérimental d'une grande utilité pratique, et si je trouve une exception à cette règle qui se vérifie si souvent, je n'hésiterais pas à me mettre au travail pour m'efforcer de la faire disparaître.

Nous en trouvons dans les recherches de M. Friedel et Ladenburg, dont les considérations précédentes nous ont trop écartées, un exemple frappant.

Il y a déjà plusieurs années, M. I. Pierre a découvert une combinaison formée de chlorure de silicium et de soufre nommée chlorosulfure de silicium et lui avait attribué, en employant l'ancienne notation, la composition $SiCl^2S$, représentant du chlorure de silicium $SiCl^3$ dans laquelle un atome de soufre remplaçait un atome de chlore. Toutefois cette composition, était en contradiction avec les idées nouvelles sur l'atomicité du silicium, et des recherches précises étaient nécessaires pour reconnaître si on était bien là devant une de ces exceptions singulières auxquelles nous faisions récemment allusion. — Une analyse délicate montra bientôt que le composé de M. I. Pierre renfermait, en effet, un atome d'hydrogène ; on conçoit, au reste, facilement qu'il ait pu échapper à un observateur non prévenu, puisqu'il ne représentait qu'un demi pour 100 du poids total de la matière. — Cet atome d'hydrogène levait la difficulté, car en employant les nouveaux poids atomiques on arrivait à formuler le composé de M. Pierre : $SiCl^3HS$. — Le lecteur attentif reconnaîtra sans peine ici que le silicium est combiné avec cinq atomes différents et aura peut-être quelque peine à comprendre pourquoi la découverte de l'hydrogène, dans le composé de M. Pierre, vient à l'appui de la tétratomicité du silicium; voici cependant les considérations, non sans valeur, que font valoir MM. Friedel et Ladenburg. Le silicium est uni d'une

part à trois atomes de chlore et à un atome de soufre, ses quatre affinités sont satisfaites, mais il n'en est plus de même du soufre; le soufre qui se combine dans l'hydrogène sulfuré avec deux atomes d'hydrogène est considéré comme diatomique ; une seule de ses affinités est satisfaite quand il s'unit avec le silicium, une autre resterait libre si elle n'était employée à fixer un atome d'hydrogène qui termine le système. L'interprétation de MM. Friedel et Ladenburg, les conduit à une brillante conséquence : on sait que très-souvent, dans les combinaisons organiques, le chlore remplace l'hydrogène sans changer le type auquel appartient la molécule qui a subi cette modification, c'est ainsi que le gaz des marais CH^4 et le chloroforme $CHCl^3$ appartiennent au même type et dérivent l'un de l'autre par substitution ; or un des composés importants qu'on peut considérer comme dérivés du premier alcool, l'esprit-de-bois CH^4O, donne une combinaison soufrée CH^4S nommée *mercaptan méthylique*, on conçoit donc l'existence d'un mercaptan méthylique chloré, $CHCl^3S$, dans lequel trois atomes de chlore se substituent à trois atomes d'hydrogène, et enfin on voit que le composé de M. Pierre peut être considéré à juste titre par MM. Friedel et Ladenburg qui y ont découvert la présence de l'hydrogène comme le *mercaptan méthylique trichloré* du silicium, puisqu'il se formule $SiHCl^3S$.

Ce corps intéressant serait donc un nouvel exemple de la possibilité de substituer le silicium au carbone dans les combinaisons organiques, il fournirait une nouvelle preuve que peut-être, les auteurs de ces recherches consciencieuses, qui les poursuivent avec un talent d'expérimentation qu'on ne saurait trop louer, sont sur le seuil d'un champ encore inexploré : la chimie organique du silicium[1].

P.-P. Dehérain.

[1] Le lecteur ne devra pas s'étonner de rencontrer dans l'article suivant des formules différentes de celle qui sont employées ici ; l'école de M. Wurtz prend pour poids atomique du carbone 12, tandis que M. Berthelot a conservé le nombre de 6 qu'emploient presque tous les chimistes On conçoit donc que le gaz des marais soit formulé dans un cas CH^4, et dans l'autre C^2H^4.

II

LA SYNTHÈSE DES CARBURES D'HYDROGÈNE[1]

Classification des composés organiques par séries homologues. — Importance de la formation des carbures d'hydrogène par synthèse. — Condensation successive du charbon. — Exemples tirés de l'histoire de l'acétylène. — Benzine. — Naphtaline, etc. — Formation synthétique de l'acide oxalique, de l'acide benzoïque, de l'aniline et de ses diverses matières colorantes. — Hypothèses sur la formation des séries homologues.

Il y a déjà près d'un quart de siècle que Gerhardt disait : « En considérant l'ensemble des matières organiques, on remarque qu'elles offrent des gradations successives et presque insensibles, de manière à former une immense échelle dont les deux extrémités sont occupées, d'une part, au sommet, par la matière cérébrale, l'albumine, la fibrine et les autres matières plus complexes, et d'autre part, au pied, par l'acide carbonique, l'eau et l'ammoniaque, précédés eux-mêmes de l'esprit-de-bois, de l'acide formique et des corps qui en dérivent. »

Cette idée de grouper les corps en séries régulières partant des composés les plus simples pour arriver aux plus compliqués, a été particulièrement féconde, et aujourd'hui elle est adoptée par tous les chimistes; ils ne pouvaient manquer, en effet, d'être frappés des ressemblances que présentent les acides obtenus par l'oxydation des corps gras ; l'acide formique, l'acide acétique, l'acide propionique, l'acide butyrique, l'acide valérique, etc., présentent de profondes analogies et ne diffèrent les uns des autres que par C^2H^2 ; si en effet, à l'acide formique $C^2H^2O^4$ on ajoute C^2H^2 on tombe sur l'acide acétique $C^4H^4O^4$: une nouvelle addition de C^2H^2 donnera l'acide propionique $C^6H^6O^4$ et ainsi de suite ; les alcools fournissent une série aussi régulière, à $C^2H^4O^2$ l'alcool méthylique : ajoutez une fois, deux fois, quatre fois C^2H^2 et vous aurez $C^4H^6O^2$ l'alcool ordinaire, $C^6H^8O^2$ l'alcool propionique, $C^8H^{10}O^2$ l'alcool butylique, etc. — Il est remarquable que les pro-

[1] *Leçons sur les méthodes générales de synthèse en chimie organique*, par M. M. Berthelot, 1866. — *Des carbures pyrogénés*. — Annales de chimie et de physique, 1867

priétés physiques se modifient aussi régulièrement ; à mesure que le charbon et l'hydrogène s'accumulent dans la molécule, les alcools deviennent moins volatils, les acides perdent leur caractère de causticité ; ainsi le seizième alcool $C^{32}H^{34}O^2$ est solide à la température ordinaire, et l'acide palmitique qui lui correspond n'est nullement caustique. — On conçoit que la découverte des faits précédents ait fait germer l'idée d'une classification régulière, aussi se figure-t-on volontiers la chimie organique comme formant un immense casier dans lequel les corps sont rangés dans l'ordre suivant : sur chacune des lignes horizontales sont réunis toutes les substances renfermant le même nombre d'atomes de carbone ; ainsi, au rang inférieur, se trouveront : le gaz des marais ou formène C^2H^4 ; à côté : l'alcool méthylique $C^2H^4O^2$, l'acide formique $C^2H^2O^4$; au-dessus au deuxième rang prendront place les corps à 4 atomes de carbone : le gaz oléfiant ou éthylène C^4H^4, l'hydrure d'éthylène C^4H^6, l'alcool ordinaire $C^4H^6O^2$, l'acide acétique $C^4H^4O^4$; au troisième rang seront les composés renfermant 6 atomes de carbone : le propylène C^6H^6, etc. ; au quatrième, les composés à 8 atomes de carbone : le butylène C^8H^8, l'alcool et l'acide butyrique, et ainsi de suite [1].

Pour peu qu'on ait l'esprit méthodique, on voudra même que les composés d'une ligne horizontale ne soient pas mis au hasard dans leurs casiers, mais qu'ils correspondent à ceux de la ligne inférieure et supérieure ; ainsi, sur la même rangée verticale, nous verrons tous les alcools en belle ordonnance ; à côté seront leurs aldéhydes, leurs acides, etc. ; sur une même rangée, enfin, seront disposés les carbures d'hydrogène ; leur compartiment spécial sera toutefois divisé en trois cases différentes : d'un côté seront placés les carbures répondant à la formule générale $C^{2n}H^{2n+2}$; puis les carbures de la formule $C^{2n}H^{2n}$, et enfin la troisième ligne verticale renfermera ceux qui auront pour formule $C^{2n}H^{2n-2}$. Si nous prenons pour exemple la seconde rangée horizontale, nous verrons que ces trois cases, réservées aux carbures d'hydrogène, renfermeront l'hydrure d'étylène C^4H^6, le gaz oléfiant C^4H^4, l'acétylène C^4H^2, représentant tous trois des formules générales précédentes dans lesquelles nous avons fait $n = 2$.

A côté du premier casier ainsi disposé et renfermant tous les

[1] Voyez *Annuaire scientifique*, 2e année, l'article *Deux alcools nouveaux*.

composés qui dérivent simplement des corps gras, se placerait un autre casier, présentant les mêmes lignes horizontales, avec des lignes verticales analogues, mais destinés à une autre série désignée habituellement sous le nom de série aromatique, et dans lesquels nous placerons l'essence d'amandes amères, l'acide benzoïque, un troisième casier renfermerait les alcools biatomiques, etc. Un quatrième, les alcools encore plus complexes, la glycérine, puis viendraient les matières sucrées, etc. On aurait ainsi un vaste ensemble comprenant la masse énorme de composés que renferme la chimie organique, ensemble qu'il sera aisé de parcourir sans aucune fatigue ; pour peu qu'on ait, en effet, étudié chacun des corps d'une ligne horizontale, on saura l'histoire de tous les composés correspondants placés au-dessus et au-dessous, on saura par quelles méthodes régulières on peut passer de l'un à l'autre ; aura-t-on appris comment le premier des alcools, l'esprit-de-bois $C^2H^4O^2$, peut se convertir en acide formique $C^2H^2O^4$? on saura du même coup comment l'alcool ordinaire peut se convertir en acide acétique $C^4H^4O^4$, comment l'alcool butylique $C^8H^{10}O^2$ donne l'acide butyrique, et ainsi de suite ; les corps placés les uns au-dessus des autres, dans cette classification, sont dits *corps homologues ;* ils ne diffèrent, ainsi que nous l'avons dit, les uns des autres que par 2 atomes de carbone et 2 atomes d'hydrogène : on y retrouve sans s'étonner le même air de famille, puisqu'ils semblent dériver d'un type unique dans lequel s'accumule, en quantités de plus en plus grandes, les atomes de charbon et d'hydrogène.

La connaissance que nous avons de ces séries de combinaisons est d'autant plus parfaite que nous savons aujourd'hui les parcourir dans tous les sens ; non-seulement il nous est possible de passer, par des méthodes régulières, d'un corps d'une ligne horizontale à tous les autres, ainsi qu'il a été dit ; non-seulement nous savons depuis longtemps descendre la série des combinaisons homologues en enlevant peu à peu l'hydrogène et le carbone, et obtenir ainsi, à l'aide des corps dans lesquels le carbone est très-condensé, des substances plus simples, mais on peut encore aujourd'hui, grâce aux travaux de M. Berthelot, remonter cette série et obtenir, à l'aide des substances les plus simples, produites elles-mêmes à l'aide des éléments, les corps plus compliqués ; ces synthèses régulières ont eu non-seulement une influence

décisive sur notre manière d'envisager les réactions qui se produisent dans les êtres vivants, elles nous donnent encore, en quelque sorte, la raison fatale de ces séries homologues. En reconstruisant ces séries par les méthodes régulières de la synthèse, nous saisissons, en quelque sorte, le procédé même qu'a employé la nature pour produire cette masse énorme de composés ; nous pénétrons ainsi dans la seconde période de la science, celle qui ne se contente plus de constater les faits, mais qui cherche et trouve les relations qui les unissent.

Montrer, par quelques exemples, qu'il est possible de reproduire par synthèse à l'aide des éléments, la plupart des composés des séries régulières qui forment la chimie organique, énoncer la cause à laquelle on peut attribuer l'existence de ces séries s'élevant régulièrement des corps les plus simples aux plus compliqués, tel est le but de cet écrit.

En suivant M. Berthelot dans ses derniers travaux, nous ferons assister le lecteur à ce grand travail de reconstruction des combinaisons organiques ; nous ne pourrions choisir un meilleur guide : c'est lui qui a tracé la voie, et nous aurons, dans cette excursion, non-seulement l'agrément des points de vue nouveaux, mais encore le plaisir de suivre une route habilement tracée, au milieu d'obstacles de toutes sortes qui aurait arrêté mille fois un pionnier moins avisé. En lisant ces récents mémoires, en les étudiant, car lire est trop peu, on éprouve une jouissance analogue à celle qui ravit une oreille musicale, lorsqu'elle entend une grande œuvre magistralement exécutée : non-seulement l'amateur jouit alors de la pensée puissante qui a dicté ces accents émouvants, non-seulement il apprécie la grandeur du thème, le charme, l'esprit, la finesse des variations, mais encore à son émotion se joint le plaisir délicat de suivre l'artiste abordant sans hésitation les passages les plus compliqués, et enlevant ses traits avec cette fougue, cette *furia francese* qui anime aussi bien les archets du Conservatoire, que les baïonnettes de nos grenadiers.

C'est par les combinaisons du carbone et de l'hydrogène que M. Berthelot a commencé son travail, et il a pu prendre comme point de départ ou le formène C^2H^4, qu'il obtient en faisant

passer sur du cuivre chauffé au rouge un mélange d'hydrogène sulfuré et de sulfure de carbone, corps faciles à préparer eux-mêmes avec les éléments, ou l'acétylène qu'il a préparé directement dans une expérience mémorable où le carbone, entraîné par le courant d'une pile très-énergique dans une atmosphère d'hydrogène, s'unissait avec ce gaz pour donner l'acétylène C^4H^2. [1]

Ce composé est particulièrement précieux à cause de la facilité avec laquelle il contracte des combinaisons ; et ce sujet mérite quelque développement : presque tous les corps simples ont la propriété de s'unir en plusieurs proportions ; tant qu'on est resté en deçà de la limite supérieure, on rencontre des corps susceptibles d'être modifiés par addition, mais, quand la limite est atteinte, la molécule *saturée* ne peut plus s'adjoindre d'atomes nouveaux qu'à la condition de perdre quelques-uns de ceux qu'elle renferme déjà. Le soufre s'unit facilement à l'oxygène et donne l'acide sulfureux, sans être encore saturé, car il est possible d'ajouter une nouvelle proportion d'oxygène et d'obtenir l'acide sulfurique ; ici la force de combinaison est épuisée, on ne saurait aller plus loin, et l'acide sulfurique ne prendra plus ni oxygène ni chlore, ni iode. Dans le formène ou gaz des marais C^2H^4, le carbone est saturé d'hydrogène, et il est impossible d'obtenir une nouvelle combinaison renfermant une plus grande quantité de ce gaz ; on ne peut même faire pénétrer, dans cette molécule saturée, du chlore, de l'iode, du brome, etc., qu'à la condition d'enlever une quantité équivalente d'hydrogène ; ainsi, attaque-t-on le formène d'une façon convenable, on pourra obtenir C^2H^3Cl l'éther méthylformique, ou même C^2Cl^3H le chloroforme, mais on n'ajoutera rien aux quatre atomes réunis aux deux atomes de carbone. Dans l'acétylène, au contraire, le carbone n'est pas saturé, et, pour arriver jusqu'à la limite, il a deux échelons à franchir : on peut combiner ce composé à de l'hydrogène et produire le gaz oléfiant ou éthylène C^4H^4 ; ajoute-t-on une nouvelle quantité de ce même hydrogène, on obtiendra C^4H^6 l'hydrure d'éthylène. Chacun sait que M. Berthelot a montré depuis longtemps qu'en ajoutant de l'eau à l'hydrogène bicarboné on peut obtenir l'alcool ordinaire : $C^4H^6O^2 = C^4H^4 + H^2O^2$, et on voit dans tous les

[1] *Annuaire* de 1863, p. 136.

ouvrages classiques comment l'alcool donne tous les composés de la même série horizontale : éther, acide, aldéhyde, éthylamine, etc. ; c'est là un premier exemple de production à l'aide des éléments de ces matières organiques déjà assez compliquées ; résumons-nous afin d'être bien compris, l'hydrogène et le carbone s'unissent directement et donnent l'acétylène, celui-ci fixe de l'hydrogène et fournit l'éthylène, qui, combiné enfin à l'eau, se transforme en alcool.

Une synthèse encore plus frappante peut toutefois être réalisée avec l'acétylène : quand on oxyde ce composé au moyen du permanganate de potasse, on obtient un acide très-répandu dans l'organisation végétale, l'acide oxalique ; synthèse remarquable à coup sûr par son excessive simplicité. On unit d'abord directement le carbone et l'hydrogène, et on obtient ainsi l'acétylène, puis à celui-ci on ajoute de l'oxygène, et on a préparé l'acide oxalique $C^4H^2O^8$.

L'acétylène est non-seulement capable de s'unir directement à l'hydrogène, au chlore, à l'oxygène, mais il peut aussi se combiner avec d'autres carbures d'hydrogène, et même enfin se combiner à lui-même pour donner des combinaisons polymériques. Nous avons insisté déjà sur ce caractère, qui appartient aux corps susceptibles de s'unir directement avec d'autres corps simples[1], et nous n'y reviendrons pas; mais nous rappellerons qu'une des synthèses les plus remarquables réalisées par M. Berthelot, est celle de la benzine qu'il obtient en chauffant l'acétylène à une température assez élevée. La benzine est formée de charbon et d'hydrogène, on la représente par $C^{12}H^6$, ou encore par trois molécules d'acétylène combinées les unes aux autres $3(C^4H^2)$; sous l'influence d'une chaleur intense, l'acétylène s'unit à lui-même, dégage à son tour de la chaleur, et se condense en gouttelettes de benzine.

La réaction est assez rapide pour être montrée dans un cours public, mais il ne suffit pas, pour être convaincu qu'on a sous les yeux un remarquable exemple de synthèse, d'avoir vu le mercure monter dans la cloche et quelques gouttelettes apparaître, il faut démontrer que celles-ci sont bien de la benzine. Pour y arriver, M. Berthelot exécute quelques opérations délicates, mais très-in-

[1] *Annuaire de* 1867. — *L'isomérie et l'origine des pétroles.*

structives. On sait[1] que l'aniline, lorsqu'elle est traitée par des corps oxydants, tels que le chlorure de chaux, fournit plusieurs matières d'une puissance colorante extraordinaire, et qui sont aujourd'hui employées avec le plus grand succès pour la teinture sur soie sous le nom de rosaniline ; parmi ces matières, l'une, d'une belle teinte bleue, se forme aisément. Si donc nous pouvions transformer la benzine en aniline, celle-ci serait facile à caractériser par sa transformation en matière colorante. Traitons donc les quelques gouttes de benzine, obtenues par synthèse, par l'acide azotique : nous ferons ainsi un produit doué d'une odeur remarquable d'amandes amères, et connu sous le nom de nitrobenzine ; il se formule ($C^{12}H^5AzO^4$). Nous avons déjà ajouté ainsi à la benzine de l'azote, et nous nous sommes approchés de l'aniline ($C^{12}H^7Az$) ; il nous faut maintenant, pour transformer la nitrobenzine en aniline, enlever l'oxygène et introduire de l'hydrogène ; nous y réussirons facilement à l'aide d'un mélange de limaille de fer et d'acide acétique qui nous donnera de l'hydrogène naissant ; sous son influence, l'aniline sera formée, et la coloration bleue qu'elle fournit sous l'influence du chlorure de chaux pourra dès lors être obtenue.

La synthèse de la benzine $C^{12}H^6$ nous montre comment il est possible de gravir la série des combinaisons organiques : nous sommes partis de la deuxième rangée ; et nous avons atteint en une seule opération la sixième ; nous pouvons maintenant, sans de grands efforts, atteindre la septième rangée ; il faudra cette fois profiter d'abord de la position acquise en opérant, non plus sur l'acétylène, mais bien sur la benzine, et en faisant réagir sur elle le formène, qui renferme deux atomes de carbone et qui nous conduira au septième rang, où nous voulons séjourner un instant. Pour réussir dans cette combinaison, il ne suffit plus de chauffer à une température élevée un mélange de formène et de benzine, il faut faire réagir ces deux carbures à l'état naissant ; dans ces conditions, deux atomes d'hydrogène sont éliminés, et l'on obtient $C^{14}H^8$ le toluène. — Les carbures d'hydrogène peuvent donc s'unir directement les uns aux autres ; tantôt la combinaison a lieu sans aucune élimination, tantôt, au

[1] Voyez *Annuaire scientifique*, 1863. — *La chimie à l'exposition de Londres.*

contraire, il y a perte d'hydrogène ; mais, dans tous les cas, un ou plusieurs échelons sont encore franchis, et la combinaison obtenue renferme un plus grand nombre d'atomes de carbone que les corps primitifs.

Cette synthèse de toluène présente cet intérêt particulier, qu'elle nous permet d'obtenir quelques corps bien connus qui proviendront, en définitive, des éléments qui les constituent. Chacun sait qu'on peut développer dans les amandes amères une matière odorante, employée en parfumerie sous le nom d'essence d'amandes amères ; ce liquide, abandonné à l'air, fixe de l'oxygène et donne l'acide benzoïque, habituellement extrait du benjoin ; or, ce dernier composé peut être obtenu par synthèse à l'aide du toluène, dont nous venons d'indiquer la préparation. En effet, ce composé, soumis à l'action de l'oxygène, perd de l'hydrogène, et fixe, au contraire, de l'oxygène, de façon à fournir $C^{16}H^{6}O^{4}$ l'acide benzoïque.

La synthèse de la benzine et celle du toluène nous indiquent clairement la méthode suivie par M. Berthelot pour obtenir les carbures d'hydrogène les plus riches en charbon : profitant habilement de la tendance qu'a l'acétylène à se combiner à lui-même, il le porte à une température élevée où la molécule, perdant de la chaleur, se condense d'abord en benzine $C^{12}H^{6}$, même en styrolène $C^{16}H^{8}$ formé de 4 molécules d'acétylène, ou encore en hydrure de naphtaline $C^{20}H^{10}$ formé de 5 molécules d'acétylène, et cette première méthode lui permet déjà de former des corps très-variés, car les exemples précédents montrent comment d'un carbure d'hydrogène on peut déduire tous les corps de la même série horizontale. En combinant l'acétylène à lui-même, on n'obtient cependant qu'un nombre restreint de carbures d'hydrogène, mais, en faisant réagir, sur l'acétylène lui-même ou sur quelques-uns de ses dérivés, d'autres carbures, on peut réaliser la synthèse des carbures les plus variés.

Dans une des opérations les plus vulgaires de la chimie industrielle, la distillation de la houille, la fabrication du gaz de l'éclairage, se trouvent réalisées les conditions favorables à l'union de ces carbures d'hydrogène, et on rencontre, en effet, dans les produits distillés les carbures les plus variés. On sait que le gaz qu'on obtient pendant la distillation de la houille renferme, outre de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène pur, du

formène C^2H^4, de l'éthylène C^4H^4, de l'acétylène C^4H^2, par conséquent tous les composés qui réagissant les uns sur les autres peuvent engendrer la benzine, la naphtaline, l'anthracène, etc. ; tous ces carbures, de plus en plus riches en charbon, dont le dernier terme est représenté par les goudrons.

Ainsi, et c'est là le point que nous voulons mettre en relief, les carbures d'hydrogène sont susceptibles de se combiner les uns aux autres, ou même de se combiner à eux-mêmes, lorsqu'ils n'appartiennent pas à la série $C^{2n}H^{2n+2}$, pour former des composés polymères, et l'acétylène n'est pas le seul exemple que nous puissions invoquer de ces combinaisons polymériques. M. Balard a montré depuis longtemps que l'amylène $C^{10}H^{10}$, soumis à l'action du chlorure de zinc, pouvait se métamorphoser en paramylène $C^{20}H^{20}$ en se combinant à lui-même ; il pouvait même donner $C^{30}H^{30}$ par l'union de 3 molécules d'amylène, et on conçoit que, s'il existait un carbure d'hydrogène formulé C^2H^2, carbure susceptible de polymérie, puisque le carbone n'y serait pas saturé d'hydrogène, on en pourrait dériver tous les composés homologues. On pourrait même, et nous touchons là le point capital de ces recherches, déduire de ces combinaisons la raison nécessaire de l'existence de cette série remarquable de combinaisons de la chimie organique s'élevant régulièrement, par addition, de C^2H^2 à chaque composé. Si les composés organiques, au lieu de présenter des formules quelconques, sont disposés en séries régulières la raison en serait donc que les carbures générateurs de ces séries ont dû forcément prendre naissance par l'union régulière du composé C^2H^2, qui, se combinant à lui-même, donnerait C^4H^4 l'éthylène, C^6H^6 le propylène, C^8H^8 le butylène, etc., comme l'amylène donne le paramylène ou le métamylène, et l'acétylène, la benzine.

Toutefois cette interprétation laisse quelque chose à désirer, car on n'a pas isolé le carbure générateur C^2H^2, qui nous apparaît dès lors comme une fiction ; mais, avec M. Berthelot, on n'est pas longtemps dans l'embarras, et il nous donne une autre interprétation de la formation des composés homologues qui cette fois s'appuie complétement sur l'expérience.

Le lecteur se rappellera que, pour obtenir le toluène, nous avons combiné la benzine au formène, mais que cette union a eu lieu avec élimination d'hydrogène ; or, si on soumet à la distillation

sèche les acétates, on peut obtenir tous les carbures d'hydrogène de la forme $C^{2n}H^{2n}$, et on peut supposer qu'ils proviennent de la réaction du formène sur les autres carbures déjà formés, à condition qu'il y aura élimination d'hydrogène.

Qu'il s'agisse d'expliquer la formation de l'éthylène, et nous remarquerons que le formène C^2H^4 peut se combiner à lui-même à la condition de perdre de l'hydrogène ; chaque molécule de C^2H^4 perdant 2 atomes d'hydrogène, on obtiendra C^4H^4 l'éthylène ; que celui-ci réagisse sur le formène en déterminant une élimination d'hydrogène et il donnera le propylène, et ainsi de suite. Cette série de transformations apparaît nettement par les formules suivantes :

$$\underbrace{C^2H^2(H^2)}_{\text{Formène.}} + \underbrace{C^2H^4}_{\text{Formène.}} = \underbrace{C^2H^2(C^2H^2)}_{\text{Étylène.}} + 2H^2$$

$$\underbrace{C^4H^2(H^2)}_{\text{Éthylène.}} + \underbrace{C^2H^4}_{\text{Formène.}} = \underbrace{C^4H^2(C^2H^4)}_{\text{Propylène.}} + H^2$$

$$\underbrace{C^6H^4(H^2)}_{\text{Propylène.}} + \underbrace{C^2H^4}_{\text{Formène.}} = \underbrace{C^6H^4(C^2H^4)}_{\text{Butylène.}} + H^2$$

$$\underbrace{C^8H^6(H^2)}_{\text{Butylène.}} + \underbrace{C^2H^4}_{\text{Formène.}} = \underbrace{C^8H^6(C^2H^4)}_{\text{Amylène.}} + H^2$$

Il y a, entre ces réactions successives et celles que nous avons décrites plus haut, la ressemblance la plus frappante, et, de même que la benzine, rencontrant à l'état naissant le formène, perdait de l'hydrogène pour former le toluène, de même l'éthylène, le propylène, etc., au contact du formène, perdent de l'hydrogène et donnent le composé de la série immédiatement supérieure.

La série remarquable des composés homologues nous apparaît dès lors comme nécessaire ; la seule condition pour qu'elle prenne naissance se rencontre toutes les fois qu'un quelconque de ces carbures d'hydrogène est produit à une température assez élevée pour que ses molécules réagissent les unes sur les autres, et nous ne devons plus nous étonner de la riche moisson de composés rencontrés dans les produits de la distillation de la houille où les carbures d'hydrogène formés se sont trouvés dans les conditions nécessaires à leur combinaison.

Qu'il nous soit permis en terminant de jeter un regard en ar-

rière, et d'applaudir aux progrès admirables qu'a fait la chimie organique pendant les vingt dernières années; non-seulement les chimistes démontrent par des exemples sans nombre, combien était féconde la notion des séries homologues introduite par Gerhardt, mais nous pouvons aujourd'hui formuler une théorie solidement appuyée sur des faits, qui nous donne la raison nécessaire de l'existence de ces séries.

P.-P. Dehérain.

III

NOTICE BIOGRAPHIQUE

PELOUZE

La malheureuse année qui finit a été particulièrement cruelle pour l'Académie des sciences ; elle a non-seulement perdu Jobert (de Lamballe), déjà éloigné d'elle depuis quelque temps, mais encore Velpeau et Rayer ; dans la section de chimie, Pelouze ; un de ses illustres associés étrangers, Faraday ; enfin, nous apprenons au moment de mettre sous presse, la mort d'un des secrétaires perpétuels, M. Flourens. Sans se placer au premier rang, sans arriver à la réputation de Thénard ou de Gay-Lussac, Pelouze a occupé une place importante dans la science ; et nous devons essayer de retracer rapidement ici sa vie et ses travaux.

Théophile-Jules Pelouze est né à Valognes, dans le département de la Manche, le 26 février 1807 ; comme Scheele, avec qui il a plus d'un rapport, sans toutefois atteindre à sa hauteur, Pelouze pénétra dans la science par la voie modeste de la pharmacie. D'abord élève dans une officine de la Fère, il vint bientôt à Paris, et fut attaché à la pharmacie de M. Chevallier, membre de l'Académie de médecine ; ses heureuses dispositions se révélant peu à peu, il devint interne de l'hôpital de la Salpêtrière, en 1826 ; puis rêvant un plus brillant avenir, il abandonna, peu de temps après, la pharmacie, et entra dans le laboratoire de Gay-Lussac, dont il devint l'élève et le préparateur.

En 1830, il fut nommé professeur adjoint à Lille, et c'est pro-

bablement son séjour dans le département du Nord qui fut l'occasion du bon travail qu'il publia, en 1831, sur la betterave. Il y démontra clairement que cette racine ne renferme qu'un sucre identique à celui qu'on extrait des cannes ; en transformant ce sucre en alcool, il arriva à le doser exactement, et à donner la composition d'un certain nombre de racines ; il y trouva une moyenne de 10 pour 100 de sucre, ce que les travaux ultérieurs ont parfaitement confirmé.

Après ce court séjour dans le Nord, Pelouze revint à Paris, où l'appelait de nouveau Gay-Lussac ; répétiteur, puis suppléant de son maître, il publia, en 1831, un travail remarquable sur la transformation de l'acide cyanhydrique en formiate d'ammoniaque. Il est curieux de voir à quel point l'état général des esprits peut influer sur le succès d'un travail scientifique ; en transformant l'acide cyanhydrique en formiate d'ammoniaque au moyen de l'eau, Pelouze montrait que l'acide cyanhydrique peut engendrer un des acides de l'organisation végétale, et s'il eût compris l'importance qu'il y a pour la chimie à savoir reproduire, par ses méthodes régulières, les principes immédiats qui existent dans les végétaux ou les animaux, il eût sans doute cherché à faire le cyanogène directement, à l'aide du charbon et de l'azote ; il eût ainsi fait un pas décisif sur le chemin des synthèses que M. Berthelot a parcouru depuis avec un si éclatant succès. On assure que Gay-Lussac eut l'audace de goûter l'acide cyanhydrique. Sans aller si loin, Pelouze s'assura que le dérivé de ce poison foudroyant, le formiate d'ammoniaque, est sans action sur les animaux ; il devenait ainsi vraisemblable qu'il est également inoffensif pour l'homme ; mais on ne peut nier, cependant, que Pelouze n'ait montré quelque courage en buvant une dissolution du sel qui ne différait de l'acide cyanhydrique que par la fixation de l'eau ; il n'en ressentit, au reste, aucun malaise.

A cette époque de sa vie, Pelouze travaille avec une ardeur remarquable ; c'est encore en 1831 que paraît un mémoire sur l'action qu'exerce l'eau dans un grand nombre de réactions chimiques ; mémoire très-curieux, où il montre que si l'acide acétique en dissolution aqueuse décompose facilement les carbonates, réciproquement l'acide carbonique le déplace de ses combinaisons, quand la dissolution a lieu dans l'alcool.

En 1833, M. Pelouze est nommé au concours essayeur des

monnaies de Paris ; mais son zèle n'en est pas ralenti, et il publie, cette même année, son beau mémoire sur les combinaisons de l'acide phosphorique avec l'alcool. On avait cherché à établir quelque analogie entre l'hydrogène bicarboné et le gaz ammoniac, Pelouze démontra que cette analogie n'existe pas ; il étudia avec beaucoup de sagacité les combinaisons de l'alcool et de l'acide phosphorique, et termina son mémoire par une théorie de l'éthérification, qui rappelle par plus d'un trait celle qui est admise aujourd'hui.

« Les acides sulfurique et phosphorique au contact de l'alcool se combinent directement à lui, forment un bisulfate ou un biphosphate d'alcool, qui, soumis à l'action de la chaleur, se métamorphose en eau, en acides sulfurique ou phosphorique et en éther. » C'est encore ce qu'on enseigne aujourd'hui sous des termes un peu différents.

Nous ne pouvons suivre Pelouze dans les nombreuses publications de cette époque, où il donne la composition de l'asparagine, où il extrait le tannin des noix de Galle par un procédé qui est resté classique ; dans son mémoire sur les acides pyrogénés, etc., sur la xyloïdine, qui précéda le coton poudre, et les autres matières organiques rendues détonantes par la présence de l'acide hypoazotique. Ce qui frappe quand on relit à distance tous ces travaux, c'est de voir avec quelle bonne foi et quelle prudence ils sont écrits. Pelouze est ennemi des systèmes et vraisemblablement très-sceptique aux théories ; aussi, ses mémoires sont-ils très-sobres de considérations générales, et ne renferment aucune de ces vues hardies qui signalent un homme aux applaudissements de la jeunesse ; ils ont un rare mérite toutefois, ils sont exacts et ont peu vieilli, tant il est vrai que si les considérations théoriques n'ont qu'une durée éphémère, une bonne observation reste à l'actif de la science sans jamais rien perdre de sa valeur. Chacun sait combien un amour immodéré des idées générales, des rapprochements hâtifs, peut faire dévier le chercheur ; c'est là un travers que n'eut jamais Pelouze ; peut-être aurait-il eu, dans le monde savant de son temps, une plus grande réputation, s'il eût osé davantage, mais certainement aujourd'hui sa renommée en serait plus diminuée qu'accrue.

L'Académie des sciences l'appela, en 1837, à remplacer Deyeux, aujourd'hui oublié ; et le nouvel académicien prit, en 1840, une

part assez active à la lutte qui s'établit à propos des substitutions et de la théorie des types; les fautes de détail que présentaient ces travaux devaient frapper M. Pelouze plus que la hardiesse des vues émises par M. Dumas, et M. Pelouze se rangea plutôt parmi les adversaires des idées nouvelles que parmi leurs adhérents.

Les soins de l'enseignement lui laissèrent bientôt moins de loisir, et, à partir de cette époque, ses publications sont plus rares. Nommé suppléant de M. Thénard et de M. Dumas à l'École polytechnique et au Collége de France, il professa dans ces établissements pendant une longue suite d'années. Quand nous étions encore étudiant, en 1848 et 1849, nous entendîmes souvent M. Pelouze au Collége de France, où il enseignait l'analyse chimique. On ne pouvait dire que ce fut là un de ces enseignements brillants où l'orateur s'élève jusqu'aux sommités de la science pour éclairer de sa parole les questions les plus délicates; Pelouze professait un cours d'analyse chimique et cherchait avant tout l'exactitude; il entraînait son auditoire, non par son éloquence, mais par son désir de l'instruire, de lui présenter des faits exacts, précis, sur lesquels il pouvait s'appuyer sans crainte de les voir fléchir.

En 1848, Pelouze, sur la recommandation d'Arago, fut nommé président de la commission des monnaies; plus tard, il fit partie de la commission municipale de la Seine. Les occupations qui l'éloignaient de la science devenaient ainsi plus nombreuses et plus exigeantes. A la mort de Gay-Lussac, il avait été nommé chimiste conseil des usines de Saint-Gobain, et de temps à autre il y trouvait matière à observation; c'est ainsi qu'il publia quelques travaux importants sur les soudes brutes et sur le verre. C'est à lui notamment qu'on doit un perfectionnement remarquable dont Saint-Gobain d'abord, puis les autres glaceries ont profité : on fabriquait autrefois le verre à glaces avec du sable, du carbonate de chaux et du carbonate de soude; ce dernier sel est d'un prix très-élevé; Pelouze lui substitua le sulfate de soude, infiniment moins coûteux, et fit ainsi réaliser à l'usine qu'il conseillait, des bénéfices considérables. En 1863, il donna, en collaboration avec M. Cahours, un travail important sur les pétroles; nous en avons déjà rendu compte, et nous n'y reviendrons pas.

Si les recueils scientifiques ne profitaient plus des recherches de M. Pelouze, il était loin, cependant, d'être inactif : pendant

son séjour à l'hôtel des Monnaies, plusieurs opérations importantes y furent conduites à bonne fin, et notamment la refonte de toutes nos monnaies de bronze. On sait que les États voisins de la France ont adopté son système monétaire. M. Pelouze faisait partie de la commission internationale qui amena cette union désirable entre la France, la Belgique, la Suisse et l'Italie; enfin, les grands travaux de Paris posèrent plusieurs fois à la commission municipale des questions délicates, où la science de M. Pelouze, où sa connaissance de l'industrie parisienne trouvaient à s'employer utilement.

M. Pelouze est mort à Bellevue, le 31 mai 1867, et, le 3 juin, une longue assistance conduisait à sa dernière demeure cet homme vénéré. M. Pelouze, en effet, avait l'art de se faire aimer. « On ne pouvait guère le voir sans s'attacher à lui, » disait M. Fremy, son élève et son collaborateur, dans le discours qu'il prononça sur sa tombe, et on pourrait citer nombre de traits de sa carrière qui montrent à la fois un homme d'une rare délicatesse et d'une exquise bonté.

Nous ne saurions, quand sa cendre est à peine refroidie, avoir la prétention de formuler sur ses travaux un jugement définitif, mais nous ne doutons pas que le temps ne respecte le nom de Pelouze; il vivra, au contraire, comme celui de ces travailleurs qui ont rendu à la science des services signalés; au moment où il arrive, la chimie organique est à son aurore, les faits bien connus sont encore peu nombreux, il n'est pas temps d'imaginer de brillantes théories, ni de discuter en se croisant les bras, il faut résolûment s'acharner dans les travaux de laboratoire pour déterminer la composition de ces matières nombreuses que nous offre la végétation; parmi ces travailleurs consciencieux, Pelouze se place au premier rang; puis, servi par les circonstances, il atteint l'aisance, les positions élevées; là encore, il persévère dans ses habitudes laborieuses, il guide le fabricant, il conseille l'administrateur, et mérite qu'on fasse de lui le plus bel éloge que puisse envier un citoyen : ce fut un homme utile.

P.-P. Dehérain.

MÉTÉOROLOGIE

I

L'ATLAS DES ORAGES EN 1865

Après avoir organisé le service des observations météorologiques simultanées, qui permet de suivre sur la surface de l'Europe les variations des mouvements de l'atmosphère et de prévenir les régions menacées par les tempêtes, le directeur de l'Observatoire impérial donna l'impulsion à une autre étude non moins intéressante, celle des orages. On admettait généralement que ces phénomènes éclatent aux lieux mêmes où ils se sont formés ou à peu de distance de ces lieux. Kæmtz cite bien, à propos des ravages de la grêle, quelques orages *linéaires* qui avaient passé sur une assez vaste étendue de pays, mais il n'indique aucunes recherches sur l'origine et la direction de ces météores. Ces recherches furent commencées par M. Marié-Davy, astronome chargé du service météorologique à l'Observatoire impérial. Ayant eu soin, pendant l'été de 1864, de marquer sur la carte des courbes isobarométriques qu'il faisait construire chaque jour, le point où un certain nombre de ses correspondants lui signalaient des orages, il s'aperçut de la constante coïncidence de ces points avec les centres de basse pression qui signalaient le passage des tourbillons. La découverte d'une telle relation était non-seulement importante par le jour qu'elle jetait sur le phénomène des orages en lui-même, mais encore parce qu'elle devait permettre d'instituer à son sujet un utile service d'avertissements.

Il était essentiel de la vérifier par un plus grand nombre d'observations ; les mesures furent prises pour y procéder pendant l'année 1865. Les stations météorologiques qui ont pour fonction

de fournir régulièrement les éléments relatifs à la situation générale de l'atmosphère ne pouvaient suffire pour des recherches qui demandaient le concours de témoins multipliés, répandus sur toute la surface du sol. M. Le Verrier parvint à susciter de nombreux observateurs des orages en provoquant, de la part du ministre de l'instruction publique, une circulaire qui prescrivait aux préfets des départements la formation de commissions cantonales dont les membres devaient recueillir dans leur circonscription les renseignements relatifs à chacun des phénomènes, d'après un formulaire qui leur était transmis. Ces commissions n'avaient pas d'instruments de précision à consulter; on se bornait à leur demander : 1° l'heure où l'orage éclate, celle où il finit ; 2° le point de l'horizon d'où l'orage est venu, la direction dans laquelle il marche et disparaît; 3° la vitesse des nuages, les directions dans lesquelles il voyagent, la force et la direction du vent à la surface du sol; 4° l'intensité des éclairs et du tonnerre; 5° les chutes de pluie et de grêle, les trombes quand elles se forment, l'heure ou apparaissent ces divers phénomènes et leur durée; 6° l'état des récoltes avant et après l'orage, la gravité des dégâts de toute nature.

On se mit partout à l'œuvre avec empressement. Dès le commencement du mois de mai, les documents de différentes parties du réseau cantonal où les orages avaient éclaté affluèrent à l'Observatoire. Il y avait là un très-grand travail à faire pour dépouiller et interpréter ces documents qui s'élevaient quelquefois à plus de huit cents en un seul jour. Une excellente initiative vint heureusement le simplifier. « Il existe, dit M. Le Verrier, dans tous nos départements des hommes amis des sciences, d'une instruction variée et profonde, et qui, dès que l'utilité s'en fait sentir, se trouvent portés à user de leurs connaissances pour entrer dans la voie des recherches. L'Observatoire reçut donc bientôt, en même temps que les bulletins d'observations, des travaux dans lesquels leurs auteurs, s'élevant au-dessus de ce qu'on avait réclamé, discutaient les données concernant leur département et présentaient, au sujet de chaque orage, un excellent résumé remplaçant avantageusement toutes les observations. » M. Mariotti, directeur de l'école normale de Laon, donna le premier cet exemple en construisant la carte d'un orage qui avait éclaté dans le département de l'Aisne. Il y avait un grand avantage à ce que le phénomène

fût ainsi analysé et décrit dans son ensemble par des personnes placées sur les lieux mêmes où il s'était manifesté : là seulement on pouvait se faire une idée bien exacte de toutes les circonstances particulières relatives aux accidents du sol et à ses cultures. M. Le Verrier fut, par suite, conduit à proposer aux préfets la constitution au chef-lieu d'une commission composée des hommes les plus éclairés, et chargée de centraliser le travail fait dans l'étendue du réseau départemental. Un grand nombre d'ingénieurs et de professeurs, ainsi que quelques amateurs distingués de la science météorologique entrèrent dans ces commissions. Comme leurs opérations devaient entraîner une certaine dépense, on s'adressa aux conseils généraux, qui s'empressèrent d'y subvenir. Il importait surtout d'imprimer la carte de chaque département d'après une échelle uniforme, prescrite par l'Observatoire impérial, afin que les cartes partielles pussent être plus facilement rapprochées pour la constitution des cartes d'ensemble.

Quelques signes conventionnels durent être adoptés pour indiquer les localités visitées par l'orage, différents selon qu'il a été inoffensif ou qu'il a produit des dégâts, les averses de pluie ou de grêle, les chutes de la foudre sans accidents ou avec dommage. En traçant des lignes de distance en distance, par les points frappés à la même heure, on donnait le moyen d'évaluer la vitesse de translation.

Un des aides-astronomes attachés au service météorologique, M. Em. Fron, fut chargé de dresser les cartes d'ensemble. Il y mit un grand soin, rectifiant un certain nombre d'erreurs que la comparaison des documents rendait manifestes, et dont il ne faut pas s'étonner dans les appréciations relatives à un phénomène aussi complexe que les orages. L'année 1865 donna cinquante de ces cartes, parmi lesquelles on a choisi les plus intéressantes pour composer l'Atlas qui a été publié, en les accompagnant de beaucoup de cartes départementales méritant une attention particulière.

L'expérience nouvelle confirme pleinement la découverte de M. Marié-Davy. Il résulte de l'inspection des cartes que le passage des tourbillons à dépression barométrique venant de l'Atlantique et traversant souvent la France dans toute son étendue, s'effectue en été comme en hiver; que le mouvement tournant y est seulement beaucoup plus lent et n'engendre pas de tempêtes; mais

que ces parties de l'atmosphère sont caractérisées par des orages. La période du 7 au 10 mai nous servira d'exemple. Le 7, à huit heures du matin, on remarque que la courbe d'égale pression barométrique de 700 millimètres, devient très-sinueuse sur les côtes occidentales de France. Cette courbe descend des confins de la Norvége vers les Pays-Bas et se relève pour passer au-dessus de Londres : le centre de cette première concavité est placé sur la côte est de l'Écosse. La courbe descend ensuite au Havre, puis remonte au-dessus de Cherbourg, formant ainsi une nouvelle concavité très-étroitement circonscrite. Après avoir traversé la Bretagne, près de Lorient, la courbe s'infléchit vers l'est pour décrire une troisième concavité dont le centre est situé à 50 lieues à l'ouest de Rochefort. A chacune de ces concavités correspond une bourrasque de très-faible intensité et en même temps un groupe d'orages.

Nous suivons l'analyse de leur parcours donné par M. Marié-Davy. Le premier débute dans la Manche à dix heures du matin, puis se propage à l'est jusqu'à sept heures du soir, où on perd ses traces dans la Belgique. Des cas de foudre sont signalés dans le Calvados, la Seine-Inférieure et la Somme; des grêles mêlées de pluie tombent entre deux et trois heures dans la Seine-Inférieure sans y produire de dégâts ; mais un véritable désastre occasionné par des grêlons énormes et des torrents de pluie frappe l'Aisne, le Nord, les Ardennes et le duché de Luxembourg.

A la seconde bourrasque, dont le centre est peu éloigné du Havre, correspond le second groupe d'orages qui débute dans le Puy-de-Dôme vers trois heures du soir, traverse treize départements et finit par arriver le 8, à deux heures du matin, sur la frontière de la Belgique.

Un troisième groupe d'orages correspond au troisième centre de dépression. La grêle tombe de six à huit heures et demi du soir dans le département du Gers et du Lot-et-Garonne, de neuf heures à neuf heures et demi dans la Haute-Vienne ; elle atteint ensuite, de neuf heures à onze heures du soir, l'Allier, que l'orage précédent avait déjà ravagé.

Le lendemain 8 mai, la bourrasque du golfe de Gascogne s'est rapprochée de Bayonne et des Pyrénées, mais la pression barométrique s'est relevée sur son centre : des orages peu graves éclatent

en divers points de la France, particulièrement à l'ouest, au centre et dans la Suisse.

Du 8 au 9, cette même bourrasque traverse la France du sud-ouest au nord-est, et le 9, à 8 heures du matin, son centre est sur la pointe orientale de l'Angleterre, dans le voisinage de Yarmouth ; mais une quatrième bourrasque apparaît sur l'Atlantique, à la hauteur de la pointe de Bretagne, marchant lentement vers les côtes de France. Deux groupes d'orages s'étendent dans l'intérieur. Le premier, correspondant au troisième mouvement tournant, dont l'action électrique est en grande partie épuisée, n'occasionne que des dégâts insignifiants dans la Meurthe, la Haute-Saône et le Bas-Rhin. Le second est des plus remarquables par sa durée, par la longueur de son parcours et par sa division en deux branches, survenue près du plateau central de la France. L'une d'elles, se relevant vers le nord-est, a marché rapidement jusqu'à dix heures, l'autre s'est inclinée vers le sud-est, et après avoir éprouvé un ralentissement sensible en prolongeant les rampes des Cévennes, elle s'est élargie dans la direction des Pyrénées, donnant les derniers orages à sept heures du soir aux limites de l'Aveyron et de l'Hérault. Pendant la journée du lendemain 10, une nouvelle dérivation vers le sud s'est manifestée, mais avec des orages d'une étendue et d'une gravité beaucoup moindres. Commençant à midi dans les montagnes de la Lozère, ils ont traversé les Cévennes à une heure du soir pour descendre dans le bassin méditerranéen et vers l'embouchure du Rhône, où ils arrivent à trois heures.

On voit, dans le cas que nous venons de citer, se manifester l'influence du relief terrestre sur la masse orageuse, qui est divisée et ensuite déviée considérablement de sa direction primitive. L'étude d'autres cartes montre que cette influence est quelquefois nulle ou extrêmement faible. Considérons les orages qui, peu de jours après, ont traversé la France directement de l'ouest à l'est. Le 14 mai, vers sept heures du soir, ils atteignent les départements situés sur une courbe allant du nord au sud, et s'étendant ve la Normandie aux Pyrénées. Puis, les lignes horaires conserdant leur direction du nord au sud, le météore continue sa marche vers l'est en perdant de sa violence ; il passe à minuit sur les montagnes des Ardennes et de l'Argonne, arrive aux Vosges le 15, vers trois heures du matin, en Alsace vers quatre heures, et

enfin entre en Allemagne. Aucune variation n'a affecté sa marche dans ce long parcours, et l'égal espacement des lignes horaires montre que sa vitesse est restée sensiblement uniforme. C'est de la hauteur relative des nuages orageux et des chaînes de montagnes que doit sans doute dépendre l'action de celles-ci. On le voit dans les différents phénomènes que présente le bassin du Rhône. Quelquefois des orages très-élevés franchissent les montagnes qui l'enserrent sans dévier de la direction du sud-ouest au nord-est qu'ils avaient depuis la mer. Même, suivant le savant mémoire de M. Fournet sur les orages du département du Rhône, quand la couche des nuages atteint les sommets des massifs, cette direction se conserve dans les colonnes orageuses parallèles qui, à partir de chaque cime culminante, s'étendent au-dessus des plaines situées à l'est. Nous trouvons d'autre part des exemples d'orages qui, après avoir été entraînés dans la vallée du Rhône, ont traversé celle-ci soit du nord au sud, soit du sud au nord.

Dans le bassin de la Seine, dont l'orientation est toute différente, on n'observe pas de semblables modifications. La propagation des orages y est très-régulière en général. Leur direction n'est influencée que par les vents, et suivant la place occupée par les dépressions barométriques. On peut prendre comme types ceux du 6 juillet, ainsi analysé par M. Fron, qui fait remarquer qu'on était dans la plus chaude journée de l'année : « Le principal orage commence vers une heure du soir dans le département de Maine-et-Loire. Il marche du sud-ouest au nord-est, longe les côtes de la Manche, passe à Paris entre six et sept heures du soir, arrive en Picardie, où nous le perdons, vers six heures, dans les environs d'Arras. La direction du sud-ouest au nord-est est restée constante; la vitesse est demeurée uniforme, de 10 lieues à l'heure.

« Un deuxième groupe d'orages traverse à peu près les mêmes régions de quatre heures et demie à onze heures du soir. Sa vitesse est de 9 lieues à l'heure.

« Un troisième groupe traverse la Neustrie dans la nuit du 6 au 7 juillet, parallèlement aux deux autres, c'est-à-dire du sud-ouest au nord-est. Il sévit principalement sur le centre du bassin et s'étend depuis le sud du département d'Indre-et-Loire, qu'il atteint à huit heures du soir, jusqu'à Bruxelles, où il est signalé

à quatre heures et demie du matin, le 7. La vitesse de translation est encore régulière et d'environ 10 à 12 lieues. »

Comme exception à la règle générale, il faut citer quelques orages qui dans le courant de l'année abordent les côtes sud-est de la France en y arrivant de la Méditerranée. Les cartes de l'Atlas n'en renferment qu'un seul qui a traversé les Alpes-Maritimes et le Var, le 28 juillet, en marchant de l'est à l'ouest. C'est une étude à compléter. Dans une note insérée dans le *Bulletin de l'association scientifique*, M. Fournet cherche l'origine de ces orages dans les tourbillons provenant de l'océan Indien. « Le plateau de l'Arabie, dit-il, doucement incliné vers le golfe d'Oman, est parfaitement disposé pour donner naissance à des vents particuliers. Là règne, entre autres, l'impétueux et brûlant samyel, qui étale au loin les sables issus de la mer, de façon à stériliser une partie de la surface. S'avançant même jusqu'à la mer Rouge, ces formidables tourbillons s'abattent sur les ponts des vaisseaux qu'ils couvrent de leurs poussières ardentes. D'ailleurs, la concavité qu'occupe cette mer est précisément orientée du sud-est au nord-ouest, et de plus, ses moussons, loin d'affecter les directions de celles du littoral indien, alternent dans les deux sens indiqués par son encaissement. Plus particulièrement, du côté de l'Iémen, le sud-est, qui règne pendant huit mois, est si violent qu'il rend impossible les communications entre ports, pour les petits navires marchands.

« C'est donc ici que je suis porté à chercher le principal point de départ du vent en question. Plus loin la Méditerranée, et surtout l'Adriatique, également alignée du sud-est au nord-ouest sur l'axe de la mer Rouge, lui livrent leurs vapeurs qui en font le siroco dalmate ou italien, chaud, énervant, et amenant dans les saisons froides des brumes fréquemment accompagnées de tonnerre et d'éclairs. Ailleurs, les Alpes lui opposent leurs altitudes; mais comme elles s'abaissent vers la Méditerranée, c'est encore vers leur bout maritime que le sud-est pénètre dans la Provence où nous avons observé son caractère orageux, tandis que les parties de son courant qui vont heurter contre les Alpes orientales y déposent des pluies d'une intensité extraordinaire. »

Nous pouvons ajouter que beaucoup d'orages se forment aussi quand les vents chargés des vapeurs de la mer s'élèvent le long des pentes de la côte montagneuse de Provence. C'est un phéno-

mène qui se présente dans la plupart des régions maritimes intertropicales. Sous l'anneau de nuages que le marin trouve constamment au voisinage de l'équateur, les orages se forment d'une manière presque continue; rarement le tonnerre y reste muet. Cette couche permanente de vapeurs a été apportée par les deux vents alizés qui, au nord et au sud, balayent la surface maritime, et les courants ascendants, si actifs dans la zone intermédiaire, l'élèvent à une hauteur plus ou moins grande.

Les conditions d'évaporation et par suite de formation d'électricité, les mouvements de l'air dans le sens vertical, que nous venons d'indiquer, ne sont pas réunis dans l'atmosphère de l'Europe par les temps ordinaires. Mais elles peuvent se présenter dès qu'un mouvement tournant s'y produit. « L'air des hautes régions, dit M. Marié-Davy[1], se trouve alors abaissé vers la terre dans l'axe du tourbillon ; il y apporte sa basse température, d'où résultent les nuages; il y apporte aussi son électricité, que les nuages recueillent. Les éléments de l'orage se trouvent ainsi réunis à un degré d'autant plus élevé que l'appel de l'air a rendu la température plus rapidement décroissante avec la hauteur, les couches inférieures étant celles qui s'échauffent le plus rapidement et le plus fortement. » Les orages ne se répartissent pas uniformément sur le pourtour du tourbillon ; ils se montrent principalement dans les points les plus humides et les plus chauds, c'est-à-dire dans la portion située sous le vent de la mer. On les observe dans la partie tournée vers le sud-est, lorsque les tourbillons abordent nos côtes occidentales, et dans celle qui regarde le sud quand les tourbillons passent sur l'Angleterre.

Après la campagne de 1865, si féconde en résultats remarquables, une nouvelle campagne d'observations d'orages a été entreprise en 1866, et l'atlas qui s'y rapporte doit être prochainement publié ; nous en ferons l'examen dans l'Annuaire prochain. Si les instructions adressées aux commissions par M. Le Verrier ont été bien suivies, il aura un caractère différent; avec les tracés de trajectoires générales, il renfermera beaucoup d'études détaillées relatives à l'influence des circonstances locales sur les orages. Les recherches relatives à la grêle ont été particulièrement recom-

[1] *Les mouvements de l'atmosphère et des vents considérés au point de vue de la prévision du temps.* — Librairie Victor Masson, Paris, 1866.

mandées, car un grand intérêt s'y rattache, tant pratique que théorique. Il a été constaté, à n'en pouvoir douter, que la grêle tombe de préférence dans certaines localités. On déterminera facilement en quoi elles diffèrent de celles qui sont exemptes du fléau, en portant l'examen sur la configuration du sol et sa constitution géologique, sur le mouvement des eaux souterraines et à ciel ouvert, sur la culture et principalement sur les forêts. Les comparaisons des résultats obtenus en différents pays permettront de remonter à la cause qui distribue si diversement la grêle, et peut-être arrivera-t-on alors au moyen d'en diminuer les ravages.

F. Zurcher.

II

BIBLIOGRAPHIE

L'EAU

Par Gaston Tissandier [1].

S'il fallait, pour parler d'un ouvrage, n'en pas connaître l'auteur et ne pas lui être attaché par les liens d'une solide amitié, je devrais déposer la plume ; mais depuis huit ans que nous travaillons ensemble, M. Tissandier m'a toujours autorisé à lui dire tout ce que je pensais de ses travaux, et je ne crois pas qu'il s'en froisse aujourd'hui.

Il a choisi un beau sujet qu'il a exploré dans toutes ses parties ; c'est d'abord l'Océan avec ses marées et ses courants, qui ont une si puissante influence sur la climatologie ; puis l'eau gazeuse, la vapeur circulant de l'équateur aux régions tempérées, se condensant en neige, puis en glace, et descendant lentement les flancs de la montagne, pour se fondre en sources limpides qui, réunies en rivières, reportent à la mer l'eau qui en provient. C'est le grand système circulatoire du globe, dont les fleuves nous représentent les veines puissantes.

[1] Un volume de la *Bibliothèque des merveilles*. — Hachette.

C'est encore à la géologie que M. Tissandier emprunte les éléments de son troisième chapitre : le travail de l'eau sur les continents. Il nous fait assister à cette action incessante des torrents et des glaciers qui rongent et pulvérisent les rochers sur lesquels ils s'écoulent vite ou lentement, et des dessins remarquables nous montrent les chutes du Niagara, du Zambèse, et celles plus modestes du Rhin, ou encore les belles cascades des Pyrénées.

Plus loin, M. Tissandier revient à ses études habituelles, il raconte au lecteur comment, à la fin du siècle dernier, on arriva à se convaincre que l'eau n'était pas un élément, comment aujourd'hui on détermine rigoureusement les proportions d'oxygène et d'hydrogène qu'elle renferme ; mais il craint de s'attarder sur ces considérations purement scientifiques, et en revient bien vite au côté pittoresque de son sujet qu'il affectionne davantage. Nous voici arrivé aux usages de l'eau, à ses emplois agricoles ; plus loin nous assistons à l'extraction du sel des eaux de la mer, puis nous partons pour les eaux minérales, et rapidement nous faisons le voyage des sources les plus renommées. L'auteur touche ensuite à une question toute actuelle, l'approvisionnement de Paris, et il nous raconte notamment les péripéties des deux forages des puits de Grenelle et de Passy, enfin il termine son ouvrage en rappelant que, dans les régions méridionales, l'eau c'est la vie, et que partout où dans notre Sahara la sonde fait jaillir un ruisseau, un oasis apparaît. .

L'ouvrage de M. Tissandier est d'une lecture très-facile. Tous les sujets sont effleurés, il a garde de jamais les creuser trop profonds ; toutes les notions importantes qu'il introduit à leurs lieux et places sont habilement amenées ; à chaque instant, au reste, de jolies gravures sur bois animent le texte et reposent l'attention. C'est un livre excellent pour gagner un public de plus en plus nombreux aux études scientifiques ; il verra qu'elles sont loin d'être dépouillées d'attrait et que tous les savants ne sont pas toujours ennuyeux.

Si on voulait critiquer, on trouverait que M. Tissandier a exagéré les coupures, les divisions, les têtes de chapitre ; son ouvrage est bien ordonné, trop bien ordonné peut-être, et le désir de traiter toutes les questions qui tiennent à son sujet, entraîne l'auteur trop rapidement. On voudrait avoir un peu plus de loisir, s'attarder davantage dans quelques-uns des beaux paysages qu'il

nous décrit ; mais il faut avancer : un spectacle succède à un autre, et le premier a disparu avant que la vue en soit rassasiée. Peut-être trouverait-on aussi un trop grand luxe d'épigraphes et de citations... Si M. Tissandier trouve qu'il y a lieu de tenir compte de ces critiques, il aura occasion de faire dans son ouvrage ces petites modifications, car il a composé un de ces livres destinés à un succès rapide, dont une seule édition est loin d'épuiser la vogue et le succès.

P.-P. D.

THÉORIE DE LA FORMATION DU GLOBE TERRESTRE[1]

PAR M. A. BAUDRIMONT.

Depuis que les sciences physiques ont proclamé que les grands phénomènes de la nature, la chaleur, la lumière et l'électricité, ne sont pas, comme on l'avait cru pendant longtemps, des fluides impondérables, ou des agents inconnus et mystérieux, mais qu'ils doivent être considérés comme de simples mouvements exécutés dans les plus élémentaires parties de la matière, depuis que les sciences chimiques, armées de la balance, ont prouvé que la matière était indestructible, en donnant ainsi raison à Lucrèce qui disait, il y a deux mille ans : « Rien ne vient de rien, et les dieux mêmes ne sauraient tirer la matière du néant, » un grand nombre d'esprits instruits et audacieux ont osé étendre les conséquences de ces grandes conquêtes de la raison, et s'efforcer de trouver dans l'étude consciencieuse des faits, la théorie de la formation du monde, la cause de tout ce qui existe ici-bas, ou comme disait Proudhon, le « pourquoi de l'univers. »

C'est ainsi que M. Baudrimont vient de résumer en un volume curieux les vues générales que l'étude des derniers résultats de la science lui ont permis de poser sur ces grands problèmes ; il commence d'abord par dérouler aux yeux de son lecteur le tableau de l'univers, il lui ouvre le ciel, le laisse saisi d'étonnement

[1] *Théorie de la formation du globe terrestre*, pendant la période qui a précédé l'apparition des êtres vivants, par A. Baudrimont. 1 vol. in-12. Germer-Baillière, 1867.

devant l'immensité de l'espace, et devant la grandeur des distances qui séparent les étoiles de notre humble planète; il lui fait voir les nébuleuses, ces mondes en préparation, les comètes, ces astres errant éternellement dans l'espace, et les aérolithes, ces planètes microscopiques qui sont absorbées par les globes planétaires plus considérables, quand elles s'aventurent au delà de leur sphère d'attraction. Après cet intéressant voyage dans le ciel, on se retrouve sur la terre, et on examine avec l'auteur sa forme et ses mouvements, sa température, les reliefs de ses continents et la disposition de ses mers. Une fois ce tableau d'exposition terminé, M. Baudrimont entre résolûment dans l'étude du problème dont il cherche à éliminer toutes les inconnues. Il explique la création du monde tel qu'il existe actuellement au moyen de ses formations distinctes. A l'origine des êtres, l'univers est composé d'un espace infini, et d'atomes finis indivisibles, doués d'un mouvement de rotation et de translation; ces atomes par leur attraction, ont formé des éléments tels que l'oxygène, l'hydrogène, l'azote et le carbone; en outre, par cette réunion de plusieurs atomes pour former une molécule, une partie du mouvement de translation transformé en mouvement vibratoire a donné naissance à la chaleur et aux forces naturelles. Ces phénomènes comprennent la *deuxième formation*. Dans la *troisième période*, ou *état pulviculaire*, la condensation des molécules augmente et la nébuleuse prend naissance; puis viennent dans la quatrième formation la centralisation de la masse de la nébuleuse, la naissance du mouvement vibratoire, la séparation de l'atmosphère, etc. *La cinquième période* est celle de la solidification de la croûte terrestre, et l'auteur examine les différentes réactions chimiques qui ont dû avoir lieu entre les éléments, la production de quelques roches, la formation des montagnes, etc.; il complète enfin l'examen de la création de la charpente de notre planète, dans la *sixième formation* qui est celle de la *condensation de l'eau*.

On comprend qu'il nous soit impossible de rendre compte en quelques lignes de toute la théorie de M. A Baudrimont, mais en exposant ainsi très-sommairement les divisions principales de cet ouvrage, nous avons donné une idée des questions qu'on y a traitées, des problèmes redoutables qu'on a tenté d'y résoudre. En définitive l'auteur, partant d'éléments très-simples, l'espace, les atomes, l'attractivité, le mouvement, a voulu constituer le

monde tel que nous le connaissons; cette entreprise hardie a déjà été vainement tentée par d'autres philosophes, et nous ne pensons pas que M. Baudrimont ait la prétention de croire qu'il a tout expliqué : bien des points restent indécis; au reste, il n'est pas temps encore de traiter ces questions périlleuses et peut-être est-il préférable de rester dans les limites de la science pure, sans toucher aux études qui entraînent forcément aux conceptions de la métaphysique dans lesquelles l'auteur nous a paru se perdre plus d'une fois. Quoi qu'il en soit, il faut savoir gré aux chercheurs hardis qui essayent de mettre à profit les derniers résultats de la science, et de s'en servir pour lutter contre l'inconnu, même quand ils n'y réussissent que médiocrement ; il n'est pas rare de voir jaillir quelques étincelles de vérité dans les combats de ce genre. Nous croyons toutefois que celles qui surgiront ainsi du livre de M. Baudrimont ne seront pas nombreuses.

G. T.

HISTOIRE DE LA TERRE [1]

Par M. L. Simonin.

Ce livre analogue au précédent ouvrage, quant au titre, ne lui ressemble en rien, quant aux questions examinées. M. Simonin, moins ambitieux dans ses désirs que M. Baudrimont, ne cherche pas à résoudre de grands problèmes, et il se contente de vouloir enseigner la géologie à ceux qui en ignorent les principes. Il commence par décrire très-rapidement l'origine probable de notre planète, puis il expose les événements géologiques qui ont produit les substances qui la constituent, et les révolutions qui ont façonné l'écorce terrestre. La première partie comprend la formation des terrains éruptifs et sédimentaires, le soulèvement des montagnes, l'apparition de la vie; au *moyen âge*, c'est-à-dire au moment de la production des terrains permien, triasique, jurassique et crétacé, j'ajoute l'étude des fossiles et de la flore des différentes époques

[1] L. Simonin. *Histoire de la terre*, origine et métamorphoses du globe. 1 vol. in-12. J. Hetzel.

géologiques. L'auteur étudie ensuite les *temps modernes*, le règne des quadrupèdes fossiles et des végétaux tertiaires. Il arrive enfin à la *période quaternaire* et parle des anciens glaciers, des blocs erratiques et de l'apparition de l'homme. Il est, à notre avis, un peu trop absolu au sujet de l'*ancienneté de l'homme* qui constitue le titre du chapitre suivant, et il admet trop facilement la coexistence de notre race avec les fossiles de l'époque quaternaire. Dans la deuxième partie du livre, M. Simonin, fait un historique intéressant de la géologie, depuis les anciens jusqu'à nos jours ; il expose avec art les opinions divergentes des maîtres contemporains, et aborde la théorie des soulèvements et celle des causes actuelles.

Il consacre enfin de longues pages à l'étude des pierres et à leurs usages ; puis il termine en faisant comprendre au lecteur l'importance de la géologie pratique, et en lui donnant d'excellents conseils sur les explorations qu'il peut entreprendre, et sur les outils et le matériel qui doivent constituer le bagage du touriste géologue.

L'Histoire de la Terre est un excellent livre d'étude que tout le monde peut lire tout au long, sans nulle fatigue. Il n'est pas du reste nécessaire de faire l'éloge de M. Simonin à nos lecteurs, qui le connaissent par ses nombreuses publications, toujours remplies de verve et d'entrain, et surtout par son beau volume du *Monde souterrain* qui est une des plus belles publications de ces dernières années ; l'auteur y était plus à l'aise que dans le traité élémentaire dans lequel il a résumé son cours de l'École centrale d'architecture, et il y a montré qu'il n'est pas pour lui de sujet qu'il ne sache échauffer et rendre attrayant.

G. Tissandier.

PALÉONTOLOGIE

LES ANIMAUX FOSSILES DE L'ATTIQUE

Le grand travail définitif dont M. Gaudry achève en ce moment la publication, place désormais l'Attique au nombre des localités fossilifères les plus célèbres. L'ossuaire de Pikermi (4 lieues de marche nord-est d'Athènes), ne le cède pas, en effet, en richesse, aux fameux gisements de Sansan (Gers), d'Eppelsheim (Hesse-Darmstadt), de Baltavar (Hongrie), des monts Séwalik dans l'Himalaya, du Nebraska dans l'Amérique du Nord, du terrain pampéen de Buenos-Ayres ou des cavernes du Brésil. On compte jusqu'à présent à Pikermi 25 Singes, 34 Carnassiers, 2 Rongeurs, 3 grands Édentés, 4 Mastodontes, 2 Dinothériums, 21 Rhinocéros, 80 Hipparions, 12 Sangliers, 3 Girafes, 11 grands Ruminants d'une famille aujourd'hui éteinte, et plus de 150 Antilopes, sans compter quelques Oiseaux et quelques Reptiles. Au total, 371 individus[1] réunis en 51 espèces et en 25 genres, dont 20 absents de la nature actuelle. Aucun point du globe n'a jusqu'ici offert une semblable réunion de vertébrés de formes aussi variées; plusieurs même atteignent des dimensions gigantesques.

L'intérêt que présente la faune de Pikermi est encore supérieur à sa fécondité : cette faune est en effet caractérisée par certains types spéciaux, c'est-à-dire par des types qui n'ont pas été rencontrés antérieurement dans d'autres régions ; parmi eux on compte un Singe, deux Carnivores voisins des Martes, un autre carnivore du groupe des Civettes, deux Pores-épics, un Édenté beaucoup plus grand qu'aucun Édenté actuel, un Mastodonte par-

[1] La collection rapportée par M. Gaudry ne comprend pas moins de 4940 pièces.

ticulier, une Girafe, un Chevrotain et six nouvelles formes d'Antilopes.

La paléontologie de l'Attique nous a en outre mieux fait connaître certains fossiles remarquables que les recherches précédentes avaient déjà mis au jour, mais plus ou moins incomplétement ; parmi eux notamment figure un carnassier participant à la fois aux caractères des Ours et à ceux des Chiens, un Chat à canines prodigieusement développées, des Hyènes, des Rhinocéros, un Ruminant de haute taille appartenant à une famille disparue, un Sanglier d'un tiers plus grand que les sangliers actuels, et plusieurs autres mammifères parmi lesquels nous citerons seulement le volumineux Dinothérium dont les membres étaient jusqu'alors restés à peu près inconnus.

Ajoutons que la localité explorée par M. Gaudry se caractérise encore par ceci, qu'elle est la première qui ait fourni des Singes et des Antilopes en aussi grande quantité.

L'importance des fouilles de Pikermi ne repose pas d'ailleurs uniquement sur le nombre ni sur les traits particuliers des espèces recueillies. La grande différence de longévité qui existe entre les diverses formes animales en faveur des inférieures[1], le développement plus considérable et la glus grande variété des faunes et des flores anciennes comparées à celles de nos jours, l'appauvrissement progressif de la classe des Mammifères[2] depuis la formation des lits fossilifères de Pikermi et d'Eppelsheim, les changements opérés dans la distribution géographique et plusieurs autres faits de paléontologie générale, viennent, en effet, puiser une nouvelle certitude dans l'examen de l'ancienne faune de l'Attique.

[1] Ainsi, les mêmes formes de Mollusques ont assisté, pendant plusieurs périodes, à l'extinction et à l'apparition de nombreuses formes de Mammifères.

[2] Les Mammifères d'aujourd'hui ne sont en réalité que les représentants amoindris des types qui eurent un développement si remarquable vers la fin de l'époque tertiaire. Certains ordres, tels que les Marsupiaux, les Pachydermes et surtout les Proboscidiens et les Édentés ont souffert beaucoup d'extinctions et n'offrent plus aujourd'hui qu'un pâle reflet de leur prospérité antérieure. La variété des types, le nombre et la taille des individus ont subi une diminution graduelle qui s'est continuée à travers le pliocène et la période quaternaire jusqu'à l'âge moderne où l'intervention de l'homme ne contribue pas peu à accélérer ce mouvement de dégénérescence.

Les études faites dans cette contrée viennent, en outre, fournir un nouvel exemple du secours que les données paléontologiques sont parfois en état de porter à l'histoire géologique d'une région fossilifère. Ainsi les espèces éteintes de la Grèce accusent un pays plus chaud et plus étendu que l'actuel et jouissant de communications avec de vastes et fertiles contrées; l'état des ossements indique que les mammifères de Pikermi ont péri non par les progrès de l'âge, mais par l'effet d'un accident extérieur, tel que l'envahissement de l'ancienne plaine de l'archipel par la mer Ionienne. Notons aussi que l'existence d'un continent gréco-asiatique à l'époque où vécurent ces animaux, appuie ses preuves autant sur les observations zoologiques, que sur les faits de pure stratigraphie.

Mais le résultat des investigations de M. Gaudry, sur lequel nous insisterons plus particulièrement comme étant de ceux qui intéressent le plus directement la philosophie naturelle, consiste dans la découverte de nouveaux types intermédiaires. Les formes de transition non encore signalées dont le paléontologiste français a révélé l'existence, ainsi que celles déjà plus ou moins connues, dont il a mieux défini les traits particuliers, constituent le sujet de la partie la plus originale, comme la plus développée, d'ailleurs, de son ouvrage. Un grand nombre de fossiles de Pikermi présentent, en effet, de remarquables associations de caractères empruntés soit à des espèces disparues, soit à des espèces vivantes, et établissent de la sorte des liens plus étroits, non-seulement entre les genres d'une même famille, mais encore entre ceux de familles plus ou moins distinctes en apparence. Pikermi vient ainsi contribuer à affirmer l'unité des groupes zoologiques en dévoilant de nouvelles affinités rattachant les êtres actuels aux êtres qui ont vécu dans les temps antérieurs.

Ceux-ci ne constituent pas un monde à part, divisé lui-même en mondes secondaires plus ou moins hétérogènes, ainsi qu'on avait tendance à le supposer à l'origine. Frappés avant tout de l'étrangeté de leurs découvertes, les premiers paléontologistes étaient tout naturellement portés à concentrer leur observation sur les caractères spéciaux et sur les dissemblances. Mais après cette mise en relief des traits distinctifs, après cette analyse d'ailleurs si précieuse, l'accumulation rapide des espèces fossiles rendit de plus en plus sensibles les traits d'union : le monde vivant et le

monde ancien se fondirent dès lors peu à peu dans une vaste et imposante unité, et la paléontologie perdit son apparente autonomie, pour devenir ce long préliminaire de l'histoire de la vie, qui s'étend à travers une série d'âges presque infinie, depuis la période géologique actuelle jusqu'aux origines même de l'organisation.

Si Pikermi est particulièrement favorable à l'étude des types intermédiaires, c'est avant tout parce qu'en raison de la grande quantité de débris qu'il recélait, il a permis de baser les comparaisons sur la plus grande partie du squelette de ses divers hôtes. Il nous montre à combien d'erreurs on s'expose en voulant baser une détermination sur des pièces isolées, surtout si elles appartiennent à des Vertébrés : chez ceux-ci la difficulté devenant bien plus grande à cause de la multiplicité et de la grande variété des éléments dont il faudrait tenir compte, et dont pourtant la plupart font le plus souvent défaut. L'histoire de la science est d'ailleurs là pour prouver que les véritables tours de force qu'a pu se permettre le génie de Cuvier, ne laissent pas d'être téméraires dans beaucoup de circonstances : tel animal a ainsi figuré dans les catalogues à la fois sous le nom de Chèvre et d'Antilope, ou sous ceux de Glouton et de Loup, tel autre a été placé dans la famille des Ours, tandis qu'il représente réellement le type le plus parfait de celle des Chats, etc. La faune de l'Attique comprend un certain nombre de types qui, dans un état de conservation moins complet, auraient parfaitement pu se trouver passibles des mêmes approximations et des mêmes inexactitudes. Une science profonde et une vaste érudition ne sont pas des garants infaillibles, puisque rien ne peut suppléer à l'absence de pièces matérielles de quelque importance. Tel animal dont une certaine partie est semblable à la partie homologue d'un type particulier, n'est pas par cela seul très-voisin de celui-ci, car une découverte ultérieure peut montrer qu'il a emprunté la disposition d'une seconde partie aussi essentielle que la première, à un autre type plus ou moins éloigné du précédent. Ce fait est d'ailleurs un de ceux qui trouveront presque à chaque pas leur confirmation dans l'énumération analytique que nous allons faire maintenant des divers fossiles de l'Attique.

I

SINGES ET CARNASSIERS.

Ce n'est qu'en 1836 que fut signalée pour la première fois l'existence des Singes à l'état fossile. Le premier de ces animaux fut découvert dans les couches tertiaires adossées au versant méridional des monts Himalaya : il n'était représenté que par une demi-mâchoire supérieure, dont les dimensions rappelaient celles de l'Orang-Outang. Dans la seule année de 1837, d'importants débris extraits des couches tertiaires de France, d'Angleterre, de l'Inde et du Brésil, vinrent porter la conviction dans les esprits au sujet de l'antiquité de ces mammifères supérieurs : c'est parmi ceux de l'Inde que figure le genre nouveau, Propithèque, dont les individus paraissent avoir atteint une hauteur de 4 pieds. Le Pliopithèque trouvé à Sansan par M. Lartet, n'a pu être placé d'une manière bien précise[1], mais le Dryopithèque découvert en 1856 à Saint-Gaudens, au pied des Pyrénées, appartient incontestablement au groupe des Anthropomorphes ; ce singe, supérieur pour la taille au Chimpanzé du Gabon, paraît même, à quelques égards, plus voisin de l'Homme qu'aucun des premiers Quadrumanes de nos jours.

Mais les espèces, déjà au nombre de dix, trouvées jusqu'à ces derniers temps, n'avaient laissé comme trace de leur existence que des débris rares et incomplets. Aussi le Singe de Pikermi est-il déjà intéressant par cette circonstance qu'il est le premier dont le squelette soit connu à peu près complétement et dont la fixation générique présente par conséquent le plus de certitude. M. Gaudry en a, en effet, trouvé des os de presque toutes les parties du corps et jusqu'à vingt crânes, sans compter les mâchoires isolées. Mais ce qui recommande encore davantage le Primate grec à l'attention des zoologistes, c'est qu'il vient par ses caractères mixtes se placer entre deux genres actuellement vivants, et contribue ainsi à compléter l'unité de la grande famille des Singes. Son crâne et

[1] Is. Geoffroy Saint-Hilaire nie qu'on puisse le considérer comme une sorte de Gibbon.

ses dents, considérées à part, en font un Semnopithèque[1], mais ses membres, bien moins grêles que chez celui-ci, le rapprochent du Macaque. Le nom de Mésopithèque (de μέσος, qui est au milieu, et de πίθηξ, πίθηκος, singe) fait précisément allusion à cette double connexion. Si l'on n'eût encore trouvé que les pièces de la tête, ou bien seulement les os des membres, la détermination de la place de ce fossile remarquable, tout en paraissant à l'abri de toute critique, eût été cependant entachée d'erreur. Un élément aussi important que la tête ne suffit même pas toujours, comme on voit, pour affirmer telle affinité; dans un autre groupe, le Dinothérium en fournit un nouvel exemple encore plus frappant. La loi de corrélation des formes, si souvent invoquée dans le classement des restes fossiles, n'éclaire pas toujours suffisamment, et c'est pour avoir voulu l'appliquer sans discernement à tous les cas qu'il nous faut aujourd'hui faire çà et là des rectifications sur les catalogues.

Ainsi l'étude de la faune de l'Attique n'a pas eu ce seul résultat de faire connaître un grand nombre de types des plus dignes d'attention, elle a encore fourni à la méthode paléontologique des données précieuses dont l'effet sera d'augmenter la circonspection des explorateurs de nouvelles contrées et de réduire le nombre des documents apocryphes au profit des faits certains et des déterminations définitives.

La taille du Mésopithèque mesurait un demi-mètre, depuis la tête jusqu'à l'extrémité du bassin. La femelle, comme cela est d'ailleurs observable chez les autres singes, avait une taille inférieure à celle du mâle et des canines beaucoup moins développées. Le nombre des individus recueillis donne à penser que le Mésopithèque vivait en troupes à la manière des singes de nos jours; enfin, la présence de cette sorte d'animaux en Grèce indique que la température de cette contrée était plus élevée qu'actuellement, à l'époque où vécurent les nombreux animaux dont

[1] Singe de l'Asie méridionale, qui se fait surtout remarquer au premier abord par la longueur exagérée de sa queue et par son corps maigre, porté sur des membres élevés. L'espèce nommée Antelle jouit dans l'Inde d'une sorte de vénération dont elle tire un grand parti pour dévaster impunément les jardins et piller les habitations, à la grande satisfaction des adorateurs de Brahma. — Le nom de Semnopithèque vient d'ailleurs de σεμνός, vénérable.

les restes, ensevelis à Pikermi, ont révélé les mœurs et la structure.

Le groupe des Carnassiers contemporains est, sans contredit, un des plus complexes et un de ceux dont la mise en ordre réclame le plus de perspicacité. Les nombreux genres qu'il comprend y sont distribués en plusieurs séries collatérales, divergentes en certains points et convergentes en d'autres, constituant comme des chaînons parallèles ou anastomosés où il manque çà et là quelques anneaux.

Pikermi est venu participer à faire disparaître ces solutions de continuité en enrichissant la science de plusieurs types de passage, parmi lesquels nous citerons le Métarctos, l'Ictithérium et l'Hyénictis.

Le Métarctos (de μετά, après, et de ἄρκτος, ours) est un carnivore chez lequel certains caractères des ours se rencontrent avec plusieurs dispositions propres aux chiens. Aussi, vient-il relier ces deux familles concurremment avec l'Amphycion du Brésil, l'Hémicyon de Sansan, l'Arctocyon de la Fère et plusieurs autres fossiles à caractères mixtes. Les premiers explorateurs de l'Attique, MM. Roth et Wagner, de l'Université de Munich, l'avaient d'abord rapporté aux Gloutons, mais seulement d'après une mâchoire inférieure à laquelle il manquait la dent postérieure, connue sous le nom de tuberculeuse, si importante dans la détermination des affinités des carnassiers. Deux autres mâchoires inférieures étant tombées sous la main de M. Gaudry, il est devenu possible de préciser les analogies de structure. Le Métarctos se rapproche d'une part des Chiens, par sa carnassière unique et d'une conformation dénotant une carnivorité plus grande que chez les Ursidés; d'autre part des Ours par la forme générale de la mâchoire, la caducité des petites molaires antérieures, les détails du condyle articulaire de même que par la tuberculeuse allongée, annonçant un régime non exclusivement composé de proie vivante.

La famille des Mustélidés (de *mustela*, marte) était représentée à Pikermi par une Marte d'espèce nouvelle : la Marte du Pentélique, ainsi que par un carnassier très-voisin des Mouffettes et le plus petit de tous les mammifères de la Grèce primitive. Trois autres formes organiques du même ossuaire appartenaient à la famille des Viverridés (de *viverra*, civette), autre famille de carnassiers plus ou moins parallèle à la précédente et formant

avec elle un double trait d'union entre les Ursidés et les Félidés. Des trois espèces recueillies par M. Gaudry, l'une propre à l'Attique, était d'une taille inférieure à celle des Civettes, mais les deux autres dépassaient par leurs dimensions tous les Viverridés actuels. Ces espèces, fondées d'après l'examen des restes des quinze individus se rapportent toutes au même genre exclusivement fossile, désigné sous le nom d'Ictithérium (de ἰκτίς, fouine). L'Ictithérium, qui semble avoir été le carnassier le plus commun de l'ancienne Grèce, est surtout remarquable par ce fait qu'il participe à quelques-uns des signes distinctifs des Hyénidés. Il se rapproche, en effet, de ces derniers par la saillie des caisses auditives, la forme des molaires, la largeur du crâne et surtout par le grand écartement des arcades zygomatiques. La puissance des muscles masticateurs, accusée par ce dernier trait, le peu de tranchant de l'arête des dents, ainsi que la forme des phalanges onguéales, autorisent à penser que l'Ictithérium devait avoir un genre de vie analogue à celui des Hyènes et se montrer, comme celles-ci, particulièrement friand de corps morts. L'état de sa mâchoire devait, en outre, lui permettre d'en briser facilement les parties dures. M. Nordmann, ayant rencontré en Bessarabie des ossements de ce carnassier en compagnie de plus de trente espèces de coquilles marines, a émis l'opinion que l'Ictithérium se nourrissait surtout de débris d'animaux marins et s'approchait volontiers des côtes pour les débarrasser des mollusques et des autres animaux rejetés par les vagues, d'où le nom de Thalassictis ou Fouine marine, donné aussi à cet animal disparu. Un tel régime paraît encore plus vraisemblable lorsqu'on considère que l'Hyène brune du Cap, d'après le témoignage de Delegorgue, fréquente les rivages de l'océan pour dévorer les crustacés que le reflux y accumule.

La famille des Viverridés, qui tenait autrefois une large place en Europe, n'y possède plus aujourd'hui que le genre Genette. Celle des Hyénidés a, dans la même région, subi une extinction complète, bien qu'elle y comptât plusieurs membres aux dernières époques géologiques. Trois de ces anciens habitants de nos contrées figurent dans le lit fossilifère de Pikermi. Il était réservé à la paléontologie de combler la lacune qui sépare, dans la nature actuelle, les animaux construits sur les types Marte et Civette de ceux qui se rangent autour de l'Hyène. S'il a vécu des Vi-

verridés offrant des tendances très-marquées vers les Hyénidés, il y a eu de même, dans les temps géologiques, des animaux de ce dernier groupe se rapprochant notamment des Viverridés et des Mustélidés. Le lien déjà fourni par la découverte de l'Ictithérium s'est resserré par celle de l'Hyénictis ou Hyène-Fouine qui se distingue de toutes les Hyènes connues par la dimension plus grande de la dent tuberculeuse de la mâchoire supérieure, et surtout par un caractère propre aux Gloutons, aux Martes, aux Loutres et aux divers types analogues aux Civettes, c'est-à-dire par la présence d'une tuberculeuse à la mâchoire inférieure.

C'est ainsi que les découvertes paléontologiques, loin de compliquer les nomenclatures, les simplifient en faisant entrevoir des affinités nouvelles entre des familles ou des genres déjà constitués.

Les Félidés ou Carnassiers au maximum comptent aussi plusieurs espèces dans la faune de Pikermi. Parmi elles se rencontre un des plus curieux carnivores qui ait jamais existé et pour lequel, à raison même de ses caractères étranges, on n'a pas proposé moins de onze noms différents. D'une taille supérieure à celle du Lion lui-même, il se distinguait de prime abord par le prodigieux développement de ses canines supérieures, longues, plates, tranchantes et simulant des lames de poignard. Les noms de *Felis cultridens* (chat à dents en forme de couteau), de Meganthéréon (animal à grand menton), de Machairodus (ὀδούς, dent ; μάχαιρα, poignard), rappellent cette disposition singulière qui devait faire de ce digne précurseur du grand Tigre des cavernes, une bête fauve des plus redoutables.

Si, parmi les Carnivores, les Hyènes et les Vautours s'occupent de débarrasser le sol des animaux morts, les bêtes de proie semblent avoir reçu pour mission de modérer le développement des groupes d'Herbivores qui tendent à devenir trop nombreux. Partout en effet où le Lion manque en Afrique, la végétation est affreusement ravagée par des hordes de Gnous, de Couaggas ou de Gazelles. La maigreur extrême des individus qui composent l'arrière-garde de ces immenses troupes errantes, montre assez combien il est utile que les Carnassiers interviennent pour imposer des limites à la multiplication des individus et leur épargner ainsi les désastreux effets d'une concurrence vitale trop ardente : de sorte que dans l'économie naturelle, le rôle des bêtes sanguinaires

profite réellement dans un certain sens aux espèces qui fournissent à leur subsistance.

Or, les Herbivores et particulièrement les Antilopes et les Hipparions étaient singulièrement nombreux en Grèce à la fin de l'époque tertiaire. Aussi les Carnivores, favorisés par une telle abondance de nourriture, tendaient-ils naturellement à y prendre un développement proportionnel. C'est pourquoi nous trouvons à Pikermi les restes de plus de trente animaux de proie, au milieu desquels trône le puissant Machairodus, présentant au plus haut degré le type d'un animal destiné à se nourrir de chair vivante, et dont les canines si tranchantes et si prodigieusement fortes, devaient pouvoir entamer avec la plus grande facilité le cuir des Ruminants et des Pachydermes.

Si le Machairodus est le premier Félidé de grande taille, dans l'ordre chronologique, c'est que les Herbivores des périodes tertiaires anciennes, n'avaient pas les dimensions colossales de ceux dont nous trouvons les restes dans les couches du miocène moyen ou supérieur, ou dans celles du pliocène ou du quaternaire, et qui furent contemporains du *Felis cultridens* ou du Tigre des cavernes; la nature éteinte, comme l'actuelle, possède en effet une série de Carnassiers dont la taille et la force, en vertu d'une loi harmonique des plus élémentaires, sont réglées sur celles des animaux de pâturage caractéristiques des mêmes époques.

II

ÉDENTÉS, PACHYDERMES ET RUMINANTS.

Jusqu'à ces dernières années, le Macrothérium trouvé à Sansan par M. Lartet, était le seul représentant, en Europe, du Mégathérium, du Mylodon, du Mégalonyx, du Glyptodon et des autres Édentés gigantesques qui florissaient dans le nouveau monde aux dernières époques géologiques. Les recherches entreprises dans l'Attique par M. Gaudry ont amené la découverte d'un Édenté plus puissant que celui de France et dont la taille, au moins égale à celle du Rhinocéros, dépasse par conséquent de beaucoup celle de tous les Édentés actuels, bien inférieurs, il est vrai, à leurs imposants congénères des temps passés. Ses formes étaient moins

épaisses que celles du Mégathérium, mais plus lourdes que celles du fossile de Sansan. Ses membres, qui sont les seules parties parfaitement connues, présentent, par certains points, des analogies avec les Pangolins et l'Édenté de France, par d'autres, avec les Rhinocéros ou les Mastodontes, mais se distinguent, d'une manière tranchée, par leurs doigts de forme crochue. Le nom d'Ancylothérium (ἀγγύλος, crochu), créé par M. Gaudry, est destiné à rappeler cette disposition comme étant la plus spéciale au nouveau fossile. Pour la facilité de la marche, la conformation des facettes articulaires permettait aux doigts de se rétracter dans toute leur longueur, sur les métatarsiens ou les métacarpiens, à la manière de la phalange onguéale des Chats sur les autres phalanges placées en arrière.

L'étude des Pachydermes proboscidiens nous fournit un nouvel exemple de ces jonctions que le progrès des connaissances paléontologiques finit par établir entre des types plus ou moins éloignés en apparence.

Lorsqu'on apporta en Europe les ossements du premier Mastodonte connu, le Mastodonte de l'Ohio, on dut être porté à croire que ce fossile se rapportait à un groupe spécial et bien défini. Si, en effet, le nouveau Pachyderme se rapproche des Éléphants par sa trompe et par ses longues défenses implantées dans d'énormes intermaxillaires, comme aussi par sa haute taille et par la structure de ses pieds, il diffère notablement du genre unique de Proboscidiens qui existe de nos jours, par la forme de ses molaires où des mamelons[1] coniques disposées par paires en collines transverses nettement séparées, tiennent lieu des lames réunies par une matière cémenteuse qui s'observent chez les Éléphants.

Or, depuis la découverte du Mastodonte américain, on a signalé dans l'Inde de nouvelles espèces dont les dents se placent par leur conformation entre les mamelonnées et les lamelleuses; en outre les savants anglais ont fait connaître l'existence, dans la même contrée, d'un Eléphant chez lequel les dents de lait étaient remplacées verticalement comme chez plusieurs Mastodontes, au lieu de l'être longitudinalement et d'avant en arrière, ainsi que cela se

[1] Mastodonte vient de μαστός, mamelon, et de ὀδούς, ὀδόντος, dent.

voit d'une manière normale chez les Éléphants ; aussi, devant ces observations et d'autres analogues s'associant entre elles pour réduire à peu de chose une différence d'abord considérée comme importante et fondamentale, certains naturalistes sont-ils pleinement justifiés d'avoir proposé de réunir les Mastodontes et les Éléphants en un seul et même genre.

Les difficultés qu'on rencontre dans la subdivision du genre Mastodonte en espèces, viennent encore ajouter à l'indécision de ses limites. Plusieurs de ces formes spécifiques sont, en effet, très-disparates. La symphyse ou partie médiane de la mâchoire inférieure qui, chez les uns, s'allonge considérablement pour offrir une base solide à de véritables défenses constituant une seconde paire de ces appendices, reste très-courte chez les autres et ne porte que de petites incisives; si la plupart des individus recueillis reproduisent par leurs molaires la forme omnivore des Cochons et des Hippopotames, d'autres où les pointes des collines sont remplacées par de simples crénelures, rappellent la disposition propre aux Tapirs ; quelques-uns enfin, comme le Mastodonte des Pyrénées, participent du type tapiroïde en même temps que du type mameloné. L'examen de la forme des collines fournissant ainsi des données trop peu précises pour l'établissement des divisions, il a été trouvé préférable de tenir compte du nombre de ces saillies dentaires; mais les deux sous-genres fondés sur cette considération, déjà reliés par le Mastodonte des Andes, le sont maintenant d'une manière bien plus intime encore par le Mastodonte du Pentélique dont nous devons la découverte à M. Gaudry. C'est ainsi qu'après avoir, devant les nécessités imposées par l'accumulation des types, épuisé toutes les ressources taxonomiques dans les essais de groupements et de subdivisions, on arrive à reconnaître que le cloisonnement de beaucoup de groupes génériques ou spécifiques, n'a de raison d'être que dans l'insuffisance de nos connaissances.

La célèbre tête d'Eppelsheim, aussi extraordinaire par la forme que par ses dimensions, est longtemps restée la seule partie connue de l'étrange et gigantesque Mammifère désigné pour la première fois par M. Kaup sous le nom de Dinothérium. Les portions de membres trouvées à Pikermi, ont contribué à mettre un terme aux longues controverses qu'a suscitées la détermination des véritables affinités de ce contemporain paradoxal des Mastodontes.

Si, par son crâne, le Dinothérium s'éloigne moins des Cétacés herbivores et particulièrement des Lamantins que des grands Pachydermes à trompe, par la plupart des caractères de ses organes locomoteurs et notamment par le défaut d'aplatissement et de divergence des métarcapiens, il s'écarte extrêmement des Cétacés sirénides pour se rapprocher de Proboscidiens, parmi lesquels il se crée d'ailleurs une place à part par la disposition singulière de sa mâchoire inférieure [1]. Les suppositions contradictoires auxquelles a donné lieu l'examen de la tête de ce fossile remarquable, nous prouvent de nouveau combien ce serait à tort qu'on considérerait comme définitives les déterminations basées simplement sur la connaissance de pièces isolées, lors même que parmi elles s'en trouve une d'une aussi grande importance que la tête en anatomie comparée. De même que la partie céphalique du Mésopithèque, si elle eût été seule découverte, n'eût pas permis de se faire une idée sûre du corps entier de ce singe, la tête d'Eppelsheim, bien que complète et parfaitement conservée, n'a pu fournir de notions certaines sur la conformation des autres parties du squelette du Dinothérium : la loi des connexions s'est encore ici montrée impuissante à suppléer à l'absence des pièces matérielles.

Les caractères des os des membres, en s'ajoutant à cette considération que le Dinothérium a toujours été trouvé loin des rivages des anciennes mers, obligent à voir en lui un animal de terre ferme. D'un autre côté les dimensions des nouveaux débris s'accordent avec celles de la tête [2] pour faire de ce type disparu le plus grand quadrupède [3] qui ait jamais existé à la surface des continents de l'époque tertiaire, comme de toutes les époques antérieures ou postérieures.

[1] Chacun sait qu'elle se recourbe vers le sol immédiatement en avant des molaires pour porter deux énormes défenses rappelant assez par leur forme celles que le Morse possède à la mâchoire supérieure.

[2] Cette tête colossale ne mesure pas moins de $1^m,105$ depuis les condyles occipitaux jusqu'à l'extrémité de l'os de la trompe. La largeur de la région postérieure est de $0^m,93$.

[3] Tandis que la hauteur au garrot dépasse très-rarement 3 mètres chez les Éléphants vivants, celle du Dinothérium devait atteindre 4 mètres et demi. Un tibia rapporté par M. Gaudry, mesure presque 1 mètre de longueur, au lieu de 60 centimètres comme celui de l'Éléphant. C'est jusqu'ici le plus long tibia de Pachyderme qu'on ait jamais rencontré.

Le groupe des Pachydermes proprement dits est un de ceux qui se sont le plus appauvris depuis les derniers âges géologiques; aussi est-il en même temps un de ceux auxquels les fouilles pratiquées dans les divers ossuaires ont apporté une nombreuse collection de types étrangers à la nature actuelle. L'intérêt que présentent ces derniers réside surtout en ce que la plupart d'entre eux établissent des connexions plus ou moins intimes, non-seulement entre les genres d'une même famille, mais encore entre ceux qui appartiennent à des familles aujourd'hui nettement séparées. Ainsi, l'Anchithérium et l'Hipparion se sont placés en manière de trait d'union entre les Équidés et les Rhinocéridés; le Pachynolophus, en se rattachant d'une part au Palaplothérium et d'autre part aux Lophiodons annule, concurremment avec le Palæothérium, la séparation qu'on croyait exister entre cette dernière famille et celle des Tapiridés. L'Acérothérium, type plus récent que le Palæothérium, mais antérieur à l'apparition des premiers Rhinocéros vient précisément combler la lacune qui tient à distance ces deux formes de Pachydermes ; les Rhinocéros à narines demi-cloisonnées rapprochent le *Rhinoceros tichorhinus* contemporain des Mammouths des autres espèces du même genre dont les narines sont dépourvues de cloisons osseuses; l'Anthracothérium du calcaire de Beauce, unit certains caractères des Sangliers à ceux des deux principaux Pachydermes du gypse; l'Hyracothérium, l'Hippophyus, le Listriodon de Simorre et plusieurs autres fossiles dont les noms sont moins familiers, contribuent également de leur côté à diminuer l'isolement des types précédemment connus et à rendre ainsi moins pénible et plus définitif le travail de classification naturelle.

L'ancienne fécondité de la famille des Rhinocéridés ne se mesure pas seulement au nombre des genres, mais encore à celui des espèces et des individus ; pour ne parler que des représentants du genre principal, c'est à qui parmi les plus célèbres ossuaires, en offrira la plus grande accumulation. Le gisement de Pikermi en a fourni jusqu'ici vingt-deux individus pour sa part : les uns se rapportant au type à incisives rudimentaires propre au continent africain, et les autres au type asiatique caractérisé par le grand développement de ces mêmes dents. L'ancienne Attique réunissait ainsi les deux formes vivant aujourd'hui séparément sur deux continents distincts. Le Rhinocéros à mâchoires épaisses (*Rh. pachygnathus*) qui appartient au type africain, constitue l'espèce la plus com-

mune à Pikermi : elle mérite d'être citée surtout par le rapprochement qu'elle opère entre les deux espèces vivantes connues sous les noms de Bicorne et de Camus.

De même que les premiers Mastodontes s'éloignaient le plus possible des Éléphants actuels, le premier Rhinocéros découvert à l'état fossile différait au maximum des espèces de nos jours. C'est par une telle sorte d'interversion fortuite dans l'ordre et la succession des découvertes que put s'affermir cette idée tombée aujourd'hui en défaveur devant le progrès de la science, que les êtres disparus même à une époque peu reculée étaient absolument distincts de ceux dont nous sommes contemporains et s'en trouvaient séparés par des barrières infranchissables.

Les quatre-vingts individus dont la présence à Pikermi est attestée par plus de dix-neuf cents pièces, indiquent que les Hipparions ont dû errer par troupes nombreuses dans les campagnes de la Grèce antéhistorique, à la manière des Anes en Tartarie et des Couaggas ou des Gazelles en Afrique. Il n'y a pas d'exemples d'herbivores fossiles répandus en plus grand nombre et en plus de pays que ces précurseurs de nos Chevaux ; on en trouve en quantité considérable non-seulement en Allemagne, en France, en Angleterre, en Espagne, mais aussi dans l'Inde et dans l'Amérique septentrionale.

Au point de vue zoologique, on peut dire des Hipparions que ce sont des Chevaux chez lesquels les deux doigts latéraux ont subi une atrophie beaucoup moindre : les deux minces stylets qui chez les Equidés constituent les vestiges de l'indicateur et de l'annulaire sont remplacés chez l'Hipparion par deux véritables doigts pourvus de toutes leurs phalanges et terminés chacun par un petit sabot, mais pourtant insuffisamment développés pour toucher le sol : le doigt médius, plus long et plus épais étant le seul actif dans la locomotion. L'Anchithérium parmi les Pachydermes présente une disposition analogue et sous ce rapport contribue avec l'Hipparion à lier ce groupe d'Ongulés à celui des Solipèdes. Les affinités du genre éteint propre à la molasse d'eau douce supérieure, puisent encore une nouvelle certitude dans les observations tératologiques faites sur certains Chevaux pourvus à leur naissance de doigts accessoires notablement développés et simulant à s'y méprendre les appendices latéraux qui se voient d'une manière constante chez les Hipparions. Ces doigts plus ou moins rudimentaires, qu'ils soient

d'une existence anomale ou normale, sont toujours d'une égale inutilité pour l'animal qui les porte, mais leur signification au point de vue de l'anatomie comparée compense largement leur nullité sous le rapport physiologique, puisque les différents termes de leur atrophie peuvent être considérés comme correspondant aux étapes successives de la transformation d'un premier type.

L'ordre des Ruminants n'existe comme groupe distinct que dans la nature actuelle et n'y constitue qu'un des termes d'un ensemble plus vaste, démembré par l'extinction de plusieurs types anciens. A l'époque tertiaire, ses limites étaient beaucoup moins nettes qu'aujourd'hui, et les résultats des fouilles pratiquées en différents points du globe ont fait disparaître peu à peu l'isolement de cette forme d'Ongulés en la rattachant de plus en plus étroitement aux autres ordres de mammifères à colonnes. Cette assertion de l'illustre Owen que les Pachydermes et les Ruminants doivent être désormais réunis en un seul et même groupe naturel [1], se fonde en effet sur l'examen d'un certain nombre de genres fossiles tels que l'Anoplothérium, le Xiphodon, le Dichodon, l'Oréodon, l'Agriochærus et surtout le singulier Sivathérium de l'Himalaya présentant à la fois des molaires à croissants, deux paires de cornes, une trompe et un crâne presque aussi volumineux que celui de l'Éléphant et disposé à peu près de même.

Sous le rapport de la variété des formes, les deux principaux groupes d'Ongulés semblent d'ailleurs avoir toujours été en raison inverse l'un de l'autre : les Ruminants, qui l'emportent actuellement à cet égard sur les Pachydermes, n'avaient que de rares représentants pendant les premières périodes tertiaires, alors que ceux-ci comptaient déjà de nombreux genres aujourd'hui complétement disparus. Cette opposition faisant voir dans les Ruminants une forme de quadrupèdes plus récente s'expliquerait peut-être en admettant que ce type provient de la modification de quelques-uns des membres du groupe autrefois prépondérant.

Les recherches faites en Grèce par M. Gaudry ont fourni leur contingent de Ruminants éteints intéressants sous plusieurs rapports. Les sédiments tertiaires de l'Europe qui recélaient tant de

[1] De leur côté, les Chevaux se rapprochent aussi beaucoup des Ruminants par plusieurs caractères importants.

restes de grands Pachydermes n'avaient encore livré aux paléontologistes aucun débris parfaitement authentique de Ruminants de haute taille. Or, l'exploration de l'ossuaire de Pikermi est venue prouver que la Girafe, aujourd'hui exclusivement propre à l'Afrique, a eu ses analogues fossiles dans la partie occidentale de notre continent, de même que les deux espèces trouvées antérieurement par MM. Falconer et Cautley, les auteurs de la découverte du Sivathérium, dans les couches faluniennes du pied de l'Himalaya, ont établi que ce genre était également représenté dans l'Asie centrale à la même époque géologique et offrait ainsi une distribution géographique toute différente de l'actuelle. La Girafe attique était d'une taille égale à celle de ses congénères vivantes, mais se distinguait de celles-ci par la forme plus grêle de ses membres.

Simultanément vivait un autre grand quadrupède, moins élevé sur jambes que la Girafe, mais beaucoup plus robuste. Les débris qui en ont été recueillis se rapportent à onze individus. Le nom d'Helladothérium, créé par M. Gaudry, désigne ce membre d'une famille totalement éteinte comme le mammifère le plus caractéristique de l'ancienne faune de la Grèce. Beaucoup plus fort que le Chameau, il représente après le Sivathérium, le Ruminant le plus gigantesque et le plus massif qu'ait jusqu'ici fait connaître la paléontologie. La conformation toute spéciale de l'Helladothérium n'est d'ailleurs pas moins digne d'attention que sa masse : aucun animal de la période actuelle ne pourrait en effet en donner une idée même approchée. La tête lourde, à occiput très-large, est plus allongée que celle des Bœufs ; les dents sont très-grandes proportionnellement au volume de cette tête pourtant énorme ; le cou reproduit à peu près les mêmes proportions que chez le Cerf à bois gigantesques de l'Irlande ; les membres sont plus forts que ceux des grands Bœufs, et le train de devant, dont la hauteur mesurait plus de deux mètres surpassait très-sensiblement le train postérieur contrairement à ce qui s'observe chez la plupart des Ruminants.

En compagnie des bandes de ces imposants quadrupèdes, de nombreuses troupes d'Antilopes parcouraient le sol de l'ancienne Attique, comme le témoignent les restes des individus, au nombre de plus de cent cinquante, qui ont été extraits des limons de Pikermi. Les différents gisements explorés précédemment n'avaient encore fourni qu'un très-petit nombre d'échantillons appartenant

à ces élégants mammifères : aussi inclinait-on à penser que la famille des Antilopes n'était pas aussi bien représentée que de nos jours dans les âges géologiques. Sa fécondité antérieure, ainsi que le démontrent surabondamment les fouilles pratiquées en Grèce, était pourtant loin de le céder à la fécondité actuelle, si l'on prend pour base des comparaisons non-seulement le nombre des individus, mais encore la diversité des types.

Presque aucun des fossiles de Pikermi ne peut entrer dans les trente-cinq genres d'Antilopes actuellement vivantes. La plupart s'éloignent des formes déjà connues, mais pour montrer des associations de caractères analogues à celles dont nous avons déjà cité de nombreux exemples.

Le Palæotragus (Bouc ancien) se distinguait de tous les Ruminants vivants par sa tête longue et étroite, ainsi que par l'insertion de ses cornes sur le bord externe des orbites. Ces appendices frontaux ressemblent à ceux des Antilopes proprement dites, mais les molaires rappellent celles des Cerfs et des Girafes. Le Palæoréas, dont on ne compte pas moins de trente-six crânes, est encore un genre étranger à la nature actuelle, qui se rapproche du Canna du Cap par ses cornes légèrement tordues en même temps que des Gazelles par sa taille et ses formes élancées.

Mais de tous les Ruminants de Pikermi, le Tragocère est encore celui qui frappe le plus comme exemple de type intermédiaire. La confusion aussi instructive que curieuse à laquelle il a donné lieu est venue apporter une nouvelle preuve du peu d'infaillibilité de ces prétendues théories qui se croient en pouvoir de déterminer un fossile d'après l'examen d'un simple fragment d'os ; mais de tels moyens de solution devaient inévitablement perdre leur crédit dès le moment où l'on commença à soupçonner l'existence des formes de transition reproduisant sur des points différents les traits caractéristiques de deux ou de plusieurs types déjà connus. En même temps que les premiers paléontologistes qui se sont occupés de la faune de l'Attique, rapportaient les cornes de Tragocère à une Chèvre, ils décrivaient sa mâchoire inférieure sous le nom d'Antilope, de sorte que ce fossile a été ainsi rangé à la fois par suite de ses caractères mixtes dans deux genres notablement éloignés entre lesquels les observations plus complètes de M. Gaudry obligent à le placer définitivement comme trait d'union. Ce genre nouveau, précurseur de la famille des Chèvres, est repré-

senté par cinquante individus ; un nombre égal de ces derniers doit être rapporté à une espèce particulière de Gazelle caractérisée par le grand allongement des os du nez.

Cette multiplication opérée par la paléontologie du nombre des chaînons dans la série des Mammifères ongulés, comme dans les autres séries zoologiques, a pour effet de rendre de moins en moins saillantes les distinctions qu'on voudrait établir entre les groupes : aussi le descripteur ne se trouvant plus en présence que de différences très-petites, est-il porté par sa prédilection pour les oppositions et les séparations, à exagérer la signification de détails minimes, sans autre importance que celle de pure convention dont il est obligé de les revêtir pour satisfaire son besoin systématique de divisions et de subdivisions.

L'intérêt des formes nouvelles dont la seule localité de Pikermi a enrichi le groupe des Antilopes laisse à penser combien ces formes iront en se multipliant par suite de l'exploration de nouveaux gisements et combien aussi les zoologistes deviendront hésitants et perplexes devant ces deux solutions également peu satisfaisantes, ou d'augmenter indéfiniment le nombre des coupes taxonomiques afin d'écarter les éléments disparates, ou de simplifier la nomenclature au détriment de cette homogénéité qui constitue le caractère essentiel des groupes vraiment naturels[1].

La découverte de nouveaux rapports entre les espèces vivantes et les espèces éteintes constitue le principal résultat de l'étude que nous venons de résumer des principaux fossiles de l'Attique. Pikermi, à l'exemple des gisements précédemment explorés,

[1] Les Mastodontes, le Dinothérium, l'Helladothérium et les autres quadrupèdes gigantesques de l'ancienne Grèce se seraient certainement trouvés à l'étroit sur le lambeau de terre actuel ; d'un autre côté les Rhinocéros, les Hipparions et les Antilopes formaient des troupes trop nombreuses, et présentaient trop d'affinités avec les espèces nomades des grandes plaines asiatiques et africaines, pour ne pas exiger des espaces plus étendus : aussi tout fait-il supposer que le fond de la mer Ionienne constituait autrefois le sol de vastes et fertiles campagnes établissant une large et facile communication entre l'Europe méridionale et l'Asie Mineure. La fécondité du règne végétal que fait naturellement supposer que celle du règne animal était d'ailleurs singulièrement favorisée par la température tropicale qui régnait alors en Europe comme l'attestent les fossiles de Sansan, d'Eppelsheim, de Baltavar et de Pikermi, dont les analogues vivants sont aujourd'hui exclusivement cantonnés dans les pays chauds.

apporte sa part de preuves à ce fait que l'insuffisance des documents paléontologiques est la seule cause de l'isolement des groupes qui possèdent encore aujourd'hui une place à part dans les séries organiques ; nous voyons en effet les lignes de démarcation tracées dans nos tableaux de classification entre les groupes de divers ordres s'effacer de plus en plus par le progrès de nos connaissances touchant la nature ancienne. Le travail de M. Gaudry, en venant corroborer les résultats généraux consignés dans les ouvrages des Owen, des Falconer, des de Barrande, des Agassiz, etc., nous offre un nouvel exemple de cette multiplication des points de contact qu'opère toute nouvelle recherche comme de cette condensation de plus en plus grande des séries naturelles à mesure que s'allonge la liste des localités étudiées.

L'exhumation de types géologiques jusqu'ici inconnus nous oblige, il est vrai, à remanier constamment les catalogues qu'ils menacent d'encombrer ; mais si la nomenclature se complique, la classification se simplifie en réalité, et les fossiles, en s'accumulant chaque jour, loin de jeter, comme on pourrait le croire, des défis à nos tentatives de distribution naturelle des ordres, des familles ou des genres, tendent au contraire à les rendre moins pénibles et plus efficaces. Le travail d'agencement qui succède au travail descriptif prouve que la science paléontologique ne consiste pas en une simple collection toujours croissante de faits épars et sans connexion, car ceux-ci font plus que s'additionner en devenant plus nombreux et l'ordre et l'unité naissent de leur diversité et de leur multiplicité mêmes : telle découverte vient souvent combler une lacune importante, ouvrir de nouveaux aperçus, substituer un fait acquis à une hypothèse provisoire ou compléter une harmonie que des observations antérieures avaient fait pressentir.

L'intérêt que présente chaque fossile récemment reconstitué, réside donc surtout dans les lumières qu'il nous fournit sur les relations organiques jusque-là obscures ou même non encore soupçonnées de certains types déjà connus : les détails que nous avons donnés sur les espèces de Pikermi l'ont bien prouvé d'ailleurs, en nous permettant d'appuyer sur de nouvelles certitudes ce fait important de la dépendance réciproque des diverses générations qui se sont succédé à la surface de notre planète. Ainsi que nous l'avons constaté, les types extrêmes d'un même groupe

complété par les documents géologiques, diffèrent notablement lorsqu'on les met en regard ; mais un coup d'œil jeté sur l'ensemble dont ils font partie les montre se reliant entre eux par des modifications souvent presque insensibles et par une série si étroitement graduée de formes transitoires, que la moindre solution de continuité ne vient pas seulement se présenter pour autoriser l'établissement d'une subdivision quelconque. Des êtres comme nous en avons cité des exmples, qui semblaient occuper une place indépendante dans l'économie naturelle, s'offrent à nous comme autant de chaînons qui ne restent isolés qu'aussi longtemps que le permet la lente multiplication des découvertes. Partout où des fouilles sont pratiquées, de nouveaux exemples de la gradation des formes, de nouveaux termes de transition sont mis au jour : aussi, sous l'influence de l'extension des recherches, les différents termes de la série organique devront-ils nécessairement tendre à se rapprocher les uns des autres autant qu'ils le sont déjà en certains points, et les vides de nos catalogues se resserront-ils de plus en plus par l'enregistrement de types encore actuellement ensevelis dans des couches inexplorées.

Pour le moment prenons note des documents au fur et à mesure que les présentera le hasard des découvertes, afin de rendre de plus en plus manifeste la solidarité intime qui unit toutes les différentes parties du monde vivant, et faisons en même temps des résultats de l'observation un classement préparatoire, dans l'attente du classement plus parfait d'où surgira, évidente aux yeux de tous, la raison purement généalogique de ces affinités mutuelles et de ces rapports de structure.

E. Vignes.

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

ART DE L'INGÉNIEUR

I

LA MÉCANIQUE A L'EXPOSITION UNIVERSELLE

PRODUCTION ET TRANSMISSION DU TRAVAIL MÉCANIQUE.

I

Considérations générales.

Nous abordons une question des plus importantes à tous égards et dont la solution complète sera probablement le signal d'une réforme, sinon d'une révolution dans les conditions du travail de la petite industrie : la production ou mieux peut-être l'obtention de la force à bon marché. Deux solutions de ce problème s'offrent à notre esprit : on peut chercher à produire de la force, ou plutôt, à transformer en travail mécanique les agents physiques que la nature a mis à notre disposition ou que nous avons su dompter, dans les conditions de bon marché qui permettent à tout industriel, à tout ouvrier d'en faire usage avantageusement ; on peut, d'autre part, utiliser les forces mêmes que nous rencontrons à la surface de notre globe et qui sont perdues, au moins en tant que force motrice. La première solution a consisté jusqu'à présent exclusivement dans la transformation de la chaleur en travail mé-

canique ; cette transformation a lieu par l'intermédiaire d'une vapeur ou d'un gaz, de l'air en général ; on peut joindre à ce groupe de machines à vapeur et à air chaud les machines à gaz, dites machines Lenoir ; on sait transformer aussi les courants électriques en travail mécanique ; mais, jusqu'à présent, l'on n'a pu obtenir l'électricité à un prix qui permît de l'employer habituellement dans l'industrie.

La seconde solution exigerait l'emploi industriel des forces naturelles et directement susceptibles de produire un travail mécanique, telles que l'air en mouvement ou vent et l'eau en mouvement, fleuve ou mer avec ses oscillations périodiques. Ces forces sont utilisées, mais en faible partie seulement, pour des causes que nous étudierons plus loin.

Je ne parle pas des moteurs vivants, hommes ou animaux, qui ont été les premiers usités et que l'on s'efforce actuellement de remplacer le plus possible pour les utiliser d'une manière plus judicieuse, partant plus profitable.

Nous sommes conduits tout naturellement par les considérations précédentes à diviser notre étude en deux parties. Dans la première nous rangerons, outre les machines à air chaud ou à gaz, les machines marchant sous l'influence de l'eau distribuée dans les villes à domicile.

Dans la seconde partie nous aurons à traiter presque exclusivement la question du transport de la force à distance.

II

Machines à vapeur, à eau, à air et à gaz. — Machine Laubereau, machine Hugon, machine Otto et Langen.

Les machines à vapeur qui constituent actuellement la source presque unique de force motrice sont arrivées à un état de perfectionnement remarquable. Mais depuis de longues années aucun changement un peu considérable n'a été apporté à leur construction. Ce ne sera donc que sous un point de vue tout spécial que nous les étudierons, afin de n'avoir pas à entrer dans des détails techniques qui ne peuvent intéresser que les hommes spéciaux.

Nous choisissons d'autant plus volontiers ce point de vue que

les machines que nous étudierons à la suite des machines à vapeur ne sont vraiment utiles que dans ce cas particulier.

Il est des industries dont le matériel doit de toute nécessité être considérable et cher, qui doivent, pour travailler dans de bonnes conditions opérer sur de grandes masses et qui exigent le concours simultané d'un grand nombre d'ouvriers, pour n'en citer que quelques exemples : les hauts fourneaux, forges, fonderies, construction de machines, se trouvent dans le cas que nous venons d'indiquer ; ces industries consomment une quantité considérable de travail mécanique ; elles auraient certainement le plus grand intérêt à pouvoir l'obtenir à bon marché ; la solution de ce problème serait pour elles, et sans aucun doute par suite pour la société tout entière, d'un immense avantage. Mais, quel que soit l'intérêt de cette question, ce n'est point à ce point de vue que nous voulons traiter le sujet qui nous occupe. Dans beaucoup de cas, dans ce que l'on appelle la petite industrie, les opérations à effectuer demandent plutôt de l'adresse que de la force, quoique celle-ci soit indispensable parfois; mais elle doit être le plus souvent faible et son action intermittente. Les procédés de la petite industrie exigent un matériel assez restreint et ne demandent que le concours de deux ou trois personnes ; quelquefois même un ouvrier peut se charger de toute une série d'opérations.

Quelque faible que soit la force que l'ouvrier ait à employer, encore faut-il qu'il se la procure et le plus souvent il est obligé de se rendre à l'atelier où une machine spéciale distribue la force à tous ceux qui en ont besoin ; la femme qui aurait pu aider son mari, ou même effectuer une partie de l'ouvrage doit renoncer à ce supplément de gain qui amènerait peut-être l'aisance au lieu de la gêne, si elle ne veut abandonner ses enfants et son intérieur. On comprend tous les inconvénients d'un pareil système et l'on peut admettre, sans être taxé d'exagération, que le changement de cet ordre de choses pourrait amener un plus grand bien-être dans les classes ouvrières et même une plus grande moralisation : l'ouvrier travaillant chez lui, au milieu de sa famille, aidé par sa femme, par ses enfants, soustrait à l'entraînement de la paresse et de la dépense, n'est-ce pas là un problème actuel et des plus intéressants. Une solution a été tentée déjà ; elle est bonne, mais elle est loin encore, suivant nous, de

résoudre entièrement la question. Dans les quartiers industriels, on commence à voir assez souvent un écriteau portant cette indication : *Force motrice à louer*, et c'est là la solution à laquelle nous venons de faire allusion. Un manufacturier possédant une machine trop forte pour ses besoins aura eu l'idée de profiter de cet excédant de force et d'en tirer un revenu. A cet effet, un arbre de couche mû par sa machine traversera, soit un atelier dans lequel on pourra établir une industrie qui empruntera la force qui lui est nécessaire à cet arbre, soit une série de logements dans chacun desquels un fait analogue pourra se passer.

Cette solution est bonne, avons-nous dit, mais elle est loin d'être satisfaisante : la force louée est payée en proportion de tout le travail qu'elle pourrait produire, c'est-à-dire si on l'employait dix ou douze heures par jour et souvent l'ouvrier n'a besoin de cette force que pendant un temps restreint ; il ne profite donc pas complétement des dépenses qu'il fait ; souvent même il ne peut accepter cette combinaison, s'il ne lui faut employer un travail mécanique supérieur à celui qu'il peut développer personnellement, que pendant une heure ou deux chaque jour.

Les machines motrices que ces petites industries réclament doivent satisfaire à des conditions qui les différencient totalement des machines employées dans les grandes usines : elles n'ont à produire qu'un faible effort, effort qui ne dépasse jamais deux ou trois chevaux-vapeur et qui souvent n'atteint pas un demi-cheval (le cheval-vapeur est la mesure de l'effort nécessaire pour élever, en une seconde, un poids de 75 kilogrammes à 1 mètre de hauteur ; un homme ne peut produire, dans des conditions ordinaires de travail, qu'un effort mesuré par un huitième de cheval-vapeur); leur marche doit être le plus souvent intermittente ; il faut, autant que possible, qu'elles n'exigent qu'un petit emplacement, il est à désirer que leur poids soit assez faible pour pouvoir être installées sans exiger des bâtiments spéciaux ; enfin il faut que l'on n'ait point à craindre d'accidents. On reconnaît que la machine à vapeur ne peut satisfaire à toutes ces conditions.

Une machine à vapeur exige un certain temps pour être prête à marcher et lorsqu'on a obtenu une pression convenable dans la chaudière, il faut la maintenir constamment si l'on veut que la machine soit prête à fonctionner à tout moment. Ainsi donc, temps perdu à chaque reprise de travail, dépense constante de

combustible. Ces inconvénients n'existent pas dans ces grandes usines où le travail se continuant nuit et jour, la machine est constamment en marche ; lors même qu'elle ne doit être utilisée que le jour, on peut éviter tout temps perdu en ayant un chauffeur qui met la machine en train quelque temps avant la reprise des travaux. Mais telles ne sont point les conditions de la petite industrie ; il faut dans ce cas renoncer à voir se généraliser l'usage de la machine à vapeur et chercher ailleurs la solution du problème que nous avons énoncé plus haut. Nous ne pouvons cependant passer sous silence les efforts tentés par différents constructeurs pour obtenir des moteurs à vapeur simples, n'ayant qu'un faible volume et dans lesquels la chaudière soit susceptible de fournir rapidement une notable quantité de vapeur. Mais il n'y a là que des modifications de détail que nous ne pouvons entreprendre d'expliquer ; il n'y a pas, à proprement parler, une idée nouvelle que nous puissions développer.

En dehors des moteurs à vapeur trois genres de machines ont été étudiées pour satisfaire aux besoins que nous avons énumérés plus haut. Les machines à eau, les machines à air chaud, les machines à gaz.

Les machines à eau exigent, pour produire une certaine force, soit une grande quantité d'eau sous une faible pression, soit un petit volume d'eau sous une forte pression. A Paris et dans la plupart des villes on ne dispose guère d'une pression considérable, il faut donc user beaucoup d'eau. L'eau coûte cher et par suite on ne peut l'employer économiquement que si l'on en trouve un emploi convenable comme liquide après s'en être servi comme producteur de force. Il n'est pas venu à notre connaissance que ces machines se soient répandues dans les ateliers ; cependant en général elles sont peu volumineuses, l'ouverture et la fermeture d'un robinet suffit pour les mettre en marche ou les arrêter, et l'on ne paye que le travail effectué, travail que l'on évalue au moyen d'un compteur donnant à chaque instant le volume d'eau écoulé. Les conditions sont donc satisfaisantes et les appareils ne sont ni très-coûteux ni compliqués. Mais, nous le répétons, l'eau est d'un prix trop élevé à Paris pour que ces machines puissent être employées avantageusement.

On remarque bien à l'Exposition des machines à eau de diverses dimensions, mais il n'y a pas de modèles nouveaux. Nous

laisserons donc ces appareils de côté quel que soit le mérite de quelques-uns d'entre eux.

Les machines à air chaud présentent plus d'intérêt en général et surtout au point de vue de la petite industrie. On retrouve à l'Exposition les anciens modèles, quelques-uns ont été modifiés assez profondément; il y a même une machine toute nouvelle sur laquelle nous insisterons.

On peut concevoir une machine à air chaud comme agissant d'une manière entièrement analogue à celle d'une machine à vapeur : l'air froid injecté dans une chaudière spéciale en quantité convenable, s'y échauffe, s'y dilate et agit sur le piston, puis s'échappe dans l'atmosphère; mais d'après les idées de l'inventeur Robert Stirling, et dans les machines construites dans son système, l'air avant de sortir de la machine en emportant une quantité notable de chaleur passe sur une série de toiles métalliques qui absorbent cette chaleur en raison de leur conductibilité et ne laisse l'air s'échapper qu'après qu'il s'est refroidi. L'air qui alimente la chaudière doit traverser ces toiles métalliques avant de rentrer et leur reprend sinon toute la chaleur qu'elles ont absorbée au moins une grande partie. Il ne faut donc qu'une moindre quantité de combustible pour amener cet air à la température à laquelle il doit agir, il y a donc économie; mais outre la complication des machines construites soit dans le système de Stirling soit dans celui de M. Ericsson qui n'en diffère que peu, il se présente un inconvénient fort grave dont on n'a pas encore pu se débarrasser. Sous l'influence de l'air chaud, les toiles métalliques s'oxydent fort rapidement et sont bientôt hors d'usage; on a essayé de les remplacer par d'autres corps, des baguettes de verre leur ont été substituées; mais la conductibilité étant trop faible l'air sortait à une température encore élevée et l'économie cherchée n'était pas obtenue.

Les constructeurs américains qui, seuls à peu près ont construit des machines à air, ne pouvant vaincre la difficulté se sont décidés à ne plus s'en occuper, ils laissent l'air s'échapper directement après avoir agi sur le piston. Il y a alors, nous le répétons, perte de chaleur sans compensation aucune, mais c'est chose dont on ne s'occupe pas en Amérique. Les machines ne sont presque jamais étudiées dans le but de produire le maximum d'effet pour une quantité donnée de combustible.

L'Exposition américaine contenait plusieurs machines à air de l'un ou l'autre des systèmes que nous venons d'exposer rapidement ; l'une d'elle, adaptée à une pompe, comprimait de l'air et faisait parler une trompette d'alarme utile par les temps de brume.

Une étude approfondie de la question prouve que théoriquement une machine à air parfaitement construite et une machine à vapeur également parfaite donneraient le même rendement; à égalité de force, la machine à air est plus volumineuse que la machine à vapeur ; la machine à vapeur exige, pour se mettre en marche, plus de temps que la machine à air, et le combustible brûlé pendant ce temps ne produit aucun effet utile. Mais la machine à air est fort compliquée, les frottements y sont énormes, tels qu'une quantité de combustible brûlé dans une machine à air ne produit guère plus que le quart du travail auquel il eût donné lieu si on l'avait utilisé à chauffer une machine à vapeur, aussi nous ne croyons pas que celle-ci doive jamais trouver une rivale redoutable dans la machine à air chaud.

La machine à air chaud de Laubereau exposée dans la section française est sans doute fort ingénieuse et nous paraît susceptible de devenir un moteur fort employé dans la petite industrie, quoique son rendement ne puisse pas être supérieure à celui des machines américaines dans lesquelles l'air s'échappe aussitôt après avoir agi sur le piston.

La machine Laubereau est une machine à simple effet, c'est-à-dire que la force motrice agit seulement pour faire monter le piston; celui-ci redescend sous l'influence de la vitesse acquise par un volant et par suite de la pression atmosphérique.

A côté du corps de pompe dans lequel se meut le piston, se trouve une capacité servant de réservoir d'air, le foyer se trouve au-dessous, c'est une lampe à alcool, à huile, un bec de gaz, un fourneau au charbon ou au coke, suivant la force de la machine ; la partie supérieure de ce réservoir est refroidie par un courant d'eau circulant dans un double fond. On conçoit que, si l'air est en contact avec la paroi échauffée et isolé de la partie froide, sa température s'élèvera, et la pression augmentée déterminera l'ascension du piston ; le contraire se passera si l'air se trouve amené à la partie supérieure et séparé de la partie chaude : il suffit donc de donner à l'air un mouvement qui le mette suc-

cessivement en contact avec chacune des parois en l'isolant de l'autre. Ce mouvement est obtenu par un piston en plâtre d'une assez grande épaisseur qui occupe alternativement la partie supérieure et la partie inférieure du réservoir d'air et qui par son peu de conductibilité s'oppose à la propagation de la chaleur de l'une de ces parties à l'autre.

On voit que toute la chaleur acquise par l'air au contact de la paroi échauffée et qu'il a conservée après qu'il a agi sur le piston est absorbée par l'eau, et par suite perdue. Il y a là une perte qui diminue le rendement et qu'il serait préférable d'éviter; mais, malgré ce défaut, cette machine nous paraît remarquable; les organes sont en petit nombre; il n'y a pas de soupape, les frottements y sont aussi faibles que possible et c'est là un avantage marqué sur toutes les machines du même genre. En outre ces machines se mettent en train aussitôt que le foyer est allumé, il n'y a pas de temps de perdu; si la machine est chauffée au gaz il suffit d'ouvrir ou de fermer le robinet pour la mettre en mouvement ou l'arrêter. Il y a des machines de ce modèle de la force de 1 kilogrammètre, c'est-à-dire capables d'élever 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur dans une seconde; elles n'usent que 0,40 de gaz pour dix heures de travail, et la dépense est proportionnelle au temps pendant lequel la machine est en marche. Ces machines peuvent fonctionner fort convenablement et économiquement jusqu'à 2 chevaux-vapeur, mais on ne saurait compter sur elles pour une force plus considérable. On le voit, la petite industrie peut seule en faire usage: mais elle peut en tirer un parti considérable. La machine Laubereau ne peut faire explosion, elle est peu volumineuse et par suite trouve sa place partout où son usage paraît indiqué.

Si nous ne nous abusons, la machine Laubereau est une bonne solution de ce problème: la force motrice à domicile, mais ce n'est pas la solution complète que nous demandions, car le travail effectué par cette machine n'est pas à un prix aussi bas qu'il le faudrait.

L'idée première des machines à gaz remonte à Lebon (1799); mais il n'y a que quelques années que la machine Lenoir est venue réaliser cette conception théorique du promoteur de l'éclairage au gaz. La machine Lenoir répondait à un besoin vivement

senti ; elle satisfaisait aux conditions multiples que nous avons énumérées. Aussi la petite industrie en a-t-elle fait un assez grand usage et l'avait-on fréquemment employée dans toutes les industries exigeant un travail intermittent compris entre un demi-cheval vapeur et 3 chevaux-vapeur. Malgré ses avantages la machine Lenoir a été soumise à des critiques justifiées : on sait que l'explosion du mélange de gaz de l'éclairage et d'air atmosphérique qui donne le mouvement au piston est produite par une étincelle d'induction. Il est certain que la nécessité d'avoir une pile et un courant électrique dont l'interruption occasionnerait l'arrêt de la machine est un défaut grave. De plus, au moment de la combustion il se développe brusquement une grande quantité de chaleur, les parois du cylindre s'échaufferaient outre mesure si l'on n'avait soin de les refroidir constamment par un courant d'eau froide ; mais, malgré cette précaution, on n'arrive pas toujours à éviter un grippement des surfaces en contact, ce qui nuit au bon fonctionnement de la machine.

Il existe une autre machine à gaz, la machine Hugon, dont l'invention est antérieure à celle de la machine Lenoir qui évite, le premier des inconvénients et diminue le second.

Nous allons expliquer sommairement les différences que l'on remarque entre ces deux appareils basés sur le même principe.

Les organes qui introduisent dans le corps de pompe l'air et le gaz d'éclairage dans les proportions déterminées sont sensiblement les mêmes dans les deux machines. Dans la machine Hugon ce n'est plus l'électricité qui enflamme le mélange; cet inconvénient est évité par un procédé fort ingénieux. Un bec de gaz allumé enflamme, à un moment déterminé, un jet de gaz et celui-ci à son tour enflamme le mélange explosif. Mais ce jet de gaz qui transmet l'inflammation de l'extérieur à l'intérieur du cylindre n'est jamais en communication à la fois avec l'air et le corps de pompe ; lorsqu'il s'enflamme il est complétement séparé du mélange des gaz ; un instant après il est en communication avec ce mélange qu'il enflamme, mais alors l'ouverture par laquelle il était en rapport avec l'air est fermée : l'explosion éteint le bec de gaz qui de nouveau se rallume à la flamme extérieure après un temps convenable et ainsi de suite. La machine ne peut donc de ce chef éprouver aucune interruption et l'on peut être assuré d'une marche régulière.

La machine Hugon présente une seconde particularité aussi fort importante ; à chaque coup de piston on injecte une petite quantité d'eau dans le corps de pompe. Étudions quel doit être l'effet de cette eau ; au moment de l'explosion une grande quantité de chaleur est brusquement dégagée, une partie se transforme et produit le mouvement du piston, l'autre partie se communiquerait à l'enveloppe seule s'il n'y avait point d'eau ; mais, si l'on a introduit de l'eau, ce liquide absorbera une grande quantité de chaleur et passera à l'état de vapeur ; l'enveloppe s'échauffera donc d'autant moins, et c'est là un premier avantage, mais ce n'est pas le seul. On reconnaît par l'expérience que la pression à l'intérieur du corps de pompe varie moins brusquement quand la détonation a lieu en présence de l'eau que dans le cas contraire ; et cet effet tient à ce que, après le choc violent et rapide produit par l'explosion, la vapeur agit par sa pression propre en se détendant et continue ainsi sur le piston l'action première sans variation trop brusque.

La machine Hugon nous paraît satisfaire mieux que la machine Lenoir aux conditions indiquées par la théorie ; elle doit du reste agir dans les mêmes conditions de dépense de gaz, et, dès lors, elle est préférable.

Nous bornerions là nos études sur les machines à gaz si une récompense (une médaille d'argent) accordée à MM. Otto et Langex n'avait attiré notre attention sur une machine exposée par eux dans la section prussienne et sur laquelle notre première impression avait été défavorable ; un examen plus approfondi nous fortifia dans notre opinion. Cette machine est à simple effet et n'agit que sous l'influence de la pression atmosphérique. La combustion du gaz a pour but d'élever le piston qui ne produit alors aucun effet utile et, par la condensation qui suit la combinaison, de rendre la pression intérieure plus faible que la pression atmosphérique. Outre que cette machine ne peut produire un certain travail sans avoir de fort grandes dimensions, puisqu'elle ne marche qu'à basse pression, les mouvements rapides et brusques de la crémaillère ne peuvent produire un bon effet et mettent en vibration tout le bâti ; enfin les organes sont compliqués et malgré tout ce que cette machine peut avoir d'ingénieux dans les détails, nous ne croyons pas qu'elle soit appelée à un bien grand avenir.

Nous avons examiné, bien que sommairement, les moteurs

nouveaux que nous avons vus à l'Exposition universelle et de cette étude nous croyons que l'on peut conclure que l'on a des solutions convenables, quoique encore insuffisantes, de la question de l'application des machines motrices à la petite industrie.

III

Transmission de la force à grande distance. — Câble télodynamique de Hirn. — Machine à pression d'eau de Carrett et Marshall. — Roue hydro-aéro-dynamique de Callès.

Nous avons indiqué déjà d'une manière sommaire quels sont les moteurs que la nature met à notre disposition, et nous avons dit aussi qu'ils sont utilisés, mais seulement en partie. Le vent enfle les voiles et donne l'impulsion aux navires, auxquels, par raison d'économie, on n'a pas encore appliqué la vapeur ; il met encore en mouvement quelques moulins, destinés à des usages variés ; mais cette force, il faut bien le reconnaître, est trop variable pour être d'un emploi commode, aussi nous ne pensons pas que de sitôt ses applications soient généralisées.

Le courant des rivières met en mouvement des roues hydrauliques, les ruisseaux même peuvent faire marcher des roues, des turbines ; mais ce n'est que dans des cas particuliers que l'on peut compter sur ce moteur ; il faut, en effet, que l'usine dans laquelle on veut l'employer soit construite sur le bord de l'eau, ou tout au moins que l'on ait pu établir une dérivation, que l'on l'on puisse construire un barrage, toutes conditions qui ne se rencontrent pas fréquemment.

Lorsque l'on peut faire usage de ces moteurs hydrauliques, on obtient une source économique de travail mécanique. Il est vrai que la force est variable avec les saisons ; que, pendant l'été même, il peut y avoir chômage ; malgré tout, on recherche les occasions d'emprunter aux cours d'eau la force dont on a besoin.

Sur le bord de la mer, aux environs de la Rochelle, on voit quelques établissements dans lesquels la machine motrice est un moulin de marée, appareil hydraulique mus par de l'eau que l'on a retenue dans le réservoir à la pleine mer et qu'on laisse écouler à marée basse.

Quoique la marche de ces machines soit nécessairement intermit-

tente, nous ne comprenons pas qu'il n'en existe pas un plus grand nombre sur les côtes de l'Océan où la dénivellation de la mer est en moyenne de 5 mètres. Là encore, la difficulté d'établir les usines sur le bord de l'eau est une des causes qui s'oppose le plus à l'emploi de ces moulins de marée, dont on pourrait tirer un parti fort avantageux, surtout si l'on remplaçait les appareils grossiers actuellement en usage par des roues construites avec soin, par des turbines convenablement dispersées.

On peut donc conclure que, si l'on ne tire pas tout le parti possible de l'eau considérée comme moteur, cela tient surtout à la difficulté de faire usage de la force développée au point même où elle se produit; si l'on pouvait économiquement et sans grande perte transporter cette force à une notable distance, il n'est pas douteux que l'industrie s'empresserait de recourir à cette source de travail mécanique.

Diverses solutions ont été proposées; nous ne ferons que rappeler la transmission de la force à distance par l'air comprimé; ce procédé, dû à M. Sommeiller, est avantageusement employé dans les travaux de percement du mont Cenis[1].

L'Exposition universelle présentait divers appareils se proposant le même but.

D'abord le câble télodynamique de Hirn, à peine peut-on dire qu'il y a une idée nouvelle; c'est le principe de la transmission de la force par les courroies sans fin, étendu à des distances considérables. La courroie est remplacée par un câble en fil de fer, et les poulies dont le diamètre est très-grand ont des dimensions calculées pour que les pertes soient les moindres possibles. Des poulies intermédiaires sont établies sur un bâti de charpente, dans le cas où la distance entre le point de production et le point d'application de la force dépasse une longueur aussi calculée : à l'Exposition, ces deux points étaient éloignés de 150 mètres, il n'y avait qu'un système de poulies intermédiaires. On peut transmettre la force à des distances beaucoup plus grandes, et il n'y a ni impossibilité, ni difficulté à aller jusqu'à 1,000 ou 2,000 mètres. La perte de travail est faible; elle varie entre 3 et 10 p. 100; elle augmente avec le nombre de tours que font les poulies dans un temps donné et diminue proportionnellement quand augmente la force à transmettre.

[1] Voyez *Annuaire* de 1864. — Le passage des Alpes, p. 313.

Ce procédé, on le voit, est simple, peu coûteux d'installation et d'entretien ; il satisfait complétement aux besoins de l'industrie ; il est remarquable à tous égards ; il a, du reste, reçu la plus haute récompense que le jury pouvait décerner, la grande médaille d'or.

L'emploi de l'eau pour transmettre la force à distance est une idée déjà ancienne ; depuis de longues années, des machines hydrauliques de Armstrong sont en usage dans les ports de l'Angleterre et dans quelques ports de France ; l'Exposition nous montrait des machines de Carrett et Marshall, destinées aux mines de charbon et dans lesquelles l'eau pouvait être employée sous la pression de vingt atmosphères. Il y a cependant un inconvénient, la difficulté d'avoir des tubes de communication et des joints résistant à cette pression ; l'eau étant incompressible, il suffirait d'une petite fissure pour diminuer considérablement le rendement de l'appareil. Si l'on voulait faire usage de ces appareils autre part que dans les mines, les conduites d'eau devraient être placées à une certaine profondeur sous terre, et, lorsqu'une perte viendrait à se manifester, on ne saurait à quel point la chercher. Le même inconvénient existe dans le système Armstrong.

Il y avait enfin à l'Exposition, dans la section belge, un appareil propre à transmettre la force et dont le principe nouveau nous a paru ingénieux et rationnel : c'est la roue hydro-aéro-dynamique de M. Callès. Une machine soufflante, mue par une machine à vapeur et placée dans la grande galerie, envoyait constamment de l'air par une canalisation souterraine dans la rotonde belge, à une distance de 150 mètres. Le tuyau qui amène l'air débouche à la partie inférieure d'un réservoir d'eau dans lequel se meut une roue analogue aux roues à augets, mais entièrement noyée. L'air emplit l'auget situé au point le plus bas, et tend à s'élever en faisant tourner la roue : une autre auget se présente, se remplit et continue le mouvement ; lorsque l'auget arrive à la partie supérieure, l'air s'échappe et l'eau remplit de nouveau cet auget. En somme, c'est donc en rendant toujours un des côtés de la roue plus léger que l'autre que l'on obtient le mouvement continu de rotation que l'on transforme ensuite à volonté. Dans cet appareil, l'air doit arriver sans vitesse dans l'auget, et, par suite, sa pression peut être faible : il suffit qu'elle surpasse un peu la pression produite par l'eau du réservoir. Dans ces conditions, on n'a guère de fuites à craindre, les

frottements de l'air dans les tuyaux sont faibles ; il n'y a pas, en outre, de force perdue correspondant à une variation de température, ce qui arrive dans le cas où on comprime l'air. En somme, cet appareil pourrait être fort avantageusement employé à transmettre la force à distance ; dans le cas d'une usine située non loin d'un fleuve, on pourrait emprunter au cours d'eau, presque gratuitement une force énorme, qu'une canalisation analogue à celle du gaz d'éclairage transmettrait à la distance voulue. En admettant même que cet appareil ne rendît pas tout l'effet utile annoncé, il pourrait être d'une grande importance.

Les appareils que nous venons d'examiner peuvent avoir chacun une utilité réelle dans un cas déterminé ; en général, ils ne peuvent guère être d'un emploi avantageux, si la force à transmettre n'est pas un peu notable ; et l'on voit que si le problème est résolu en partie, la petite industrie ne peut, jusqu'à présent, rien espérer de ces procédés nouveaux. Est-il impossible d'arriver à distribuer *à domicile* la force en telle proportion que l'on veut, à bon marché ? Nous croyons le contraire, et un jour viendra où il suffira d'ouvrir un robinet pour avoir à sa disposition une source de travail mécanique, comme déjà nous avons le gaz, c'est-à-dire la lumière et la chaleur, comme nous avons l'eau.

Plusieurs solutions sérieuses ont été proposées : aucune n'est encore dans la pratique ; aucune, d'ailleurs, à notre connaissance, ne repose sur un principe nouveau ; il ne nous paraît donc pas nécessaire d'en parler.

Nous avons terminé la revue rapide de ce que l'Exposition a présenté de nouveau au point de vue de la production et de la transmission de la force ; bien que remarquables à divers égards, les progrès ne sont pas encore assez marqués pour que l'industrie soit près de changer ses conditions de travail, au moins en général. Il n'y en a pas moins progrès et l'on peut espérer que si les progrès continuent de même, l'on arrivera avant de longues années à trouver une solution pratique à chacun des problèmes que l'industrie a posés à la science.

GARIEL.

II

LA MACHINE A AMMONIAQUE

Il y a un siècle, Watt, modifiant la pompe à feu de Newcomen par l'adjonction d'un condenseur séparé, et faisant agir la vapeur alternativement au-dessus et au-dessous du piston, donnait à la machine à vapeur à double effet la forme sous laquelle nous la connaissons aujourd'hui. La comparaison des moteurs employés dans nos usines avec la première machine sortie des ateliers de Watt et Bolton montrerait sans doute bien des modifications ingénieuses ; mais les dispositions principales sont restées les mêmes. La machine à vapeur n'est-elle donc susceptible d'aucun perfectionnement radical, ou ne s'est-il rencontré aucun ingénieur désireux d'aborder la construction d'un nouveau type de moteur ? Nous pensons que les machines à vapeur pourraient être construites dans des conditions beaucoup plus économiques, et les noms de MM. Ericsson, du Tremblay, Lenoir, attachés à la création du moteur à air chaud, des machines à vapeur combinées et des moteurs à gaz, suffisent à prouver que le perfectionnement de l'appareil de Watt préoccupe depuis longtemps les ingénieurs et les industriels.

Quelques mots sur l'origine du travail produit par les machines à vapeur sont ici nécessaires.

Considérons une machine à vapeur arrivée à sa période de marche normale ; ce sera, si l'on veut, une machine à détente et à condensation. Que se passe-t-il pendant la durée d'un mouvement de va-et-vient du piston? Une quantité déterminée d'eau à basse température est prise dans le réservoir d'alimentation, passe dans la chaudière, s'y échauffe, s'y transforme en vapeur saturée d'une température supérieure à 100 degrés, se rend au corps de pompe dans ce nouvel état, soulève le piston, se détend et arrive dans le condenseur, où elle reprend enfin son état primitif d'eau à basse température. A la fin de cette série de transformations, tout est identique dans la position des pièces solides de la

machine ; une certaine somme de chaleur a été prise à la chaudière et une quantité moindre donnée au condenseur. La différence de ces deux quantités répond au travail produit par le piston et dont une portion sera ensuite utilisée par les outils que meut la machine. Une unité de chaleur, *une calorie* perdue par la vapeur dans son passage au travers du corps de pompe, équivaut à un travail de 425 kilogrammètres. Le rapport entre la chaleur utilisée et la chaleur prise à la chaudière a reçu le nom de *coefficient économique*. Dans la pratique, avec les moteurs à vapeur d'eau les plus parfaits, ce nombre ne s'élève jamais au-dessus de $\frac{1}{8}$ ou $\frac{1}{9}$.

La quantité de chaleur prise à la chaudière par la vapeur d'eau n'est d'ailleurs qu'une fraction de celle produite par la combustion de la houille dans le foyer ; le travail produit sur le piston est aussi beaucoup réduit avant d'être transmis à l'arbre du volant, en sorte que si nous comparons directement le travail mesuré sur le volant et le travail auquel correspond la quantité de chaleur produite par la combustion, nous obtiendrons, à cause des pertes inévitables par rayonnement et par frottement, un *rendement* beaucoup moindre.

Dans les premiers appareils de Watt, on utilisait seulement le trentième de la chaleur produite par le combustible. Les excellentes machines à vapeur surchauffée de M. Farcot consomment 1,5 kilogr. de houille par cheval et par heure. La combustion de cette quantité de charbon donne environ 11,700 calories, ce qui devrait fournir un travail de 1,380 kilogrammètres, équivalant à une force de 18 à 19 chevaux-vapeur. Le travail effectué n'étant que d'un cheval, le rendement de la machine est donc compris entre $\frac{1}{18}$ et $\frac{1}{19}$.

La théorie mécanique de la chaleur appliquée à l'analyse des phénomènes dont les machines thermiques sont le siége donne pour expression du coefficient économique la fraction $\frac{t_1 - t_0}{t_1}$. t_1 est la *température absolue*[1] de la chaudière, t_0 celle du condenseur. L'on voit donc qu'il y a deux moyens de rendre la valeur de ce

[1] Avec les physiciens qui ont créé la théorie mécanique de la chaleur, nous comptons ici les températures à partir de — 273 degrés, température à laquelle les gaz, n'ayant plus aucune force vive, n'ont aussi aucune quantité de chaleur.

coefficient voisine de l'unité. Le premier consiste à élever beaucoup la température initiale des vapeurs introduites sous le piston; le second à abaisser la limite inférieure de température à laquelle la machine peut utilement fonctionner.

Les machines à air chaud d'Ericsson et de Stirling sont des essais tentés dans la première voie, et ils réussiraient sans doute, si on n'était arrêté par la nécessité d'opérer avec des pistons à large surface [1] et par l'oxydation rapide du fer en contact avec de l'air porté à 180 ou 200 degrés.

Les moteurs à vapeurs combinées d'eau et de chloroforme fonctionnaient à basse température; mais la nature inflammable des liquides employés constituait un danger permanent d'explosion et d'incendie. Les appareils à éther de M. du Tremblay, à chloroforme de M. Lafont, sont aujourd'hui presque abandonnés; néanmoins la tentative de ces ingénieurs ne doit pas être passée sous silence; c'est un honneur pour eux d'avoir les premiers construit des machines où la température de la chaudière demeurerait inférieure à 100 degrés.

La machine à ammoniaque de M. Frot, ingénieur de la marine impériale, fonctionne à basse température comme les moteurs à vapeurs combinées; mais elle n'offre aucun danger d'explosion; sa marche est d'une régularité admirable, et elle réalise une économie importante de combustible.

L'idée originale de M. Frot consiste dans la substitution d'une dissolution d'ammoniaque à l'eau de la chaudière. L'eau à la température ordinaire de 15 degrés dissout 743 fois son volume de gaz ammoniac, et à son point d'ébullition elle ne conserve plus aucune trace de ce gaz. La grande solubilité de l'ammoniaque dans l'eau, la facilité avec laquelle elle se dégage, pouvaient faire espérer que ses dissolutions auraient, à des températures relativement basses; de 100 à 120 degrés, des tensions suffisantes pour agir d'une manière efficace sur le piston d'une machine à vapeur. L'essai fait sur des dissolutions du commerce a montré que la tension du liquide s'élevait rapidement avec la température, de façon à atteindre 7,5 atmosphères à 100 degrés et 10 atmosphères à

[1] La difficulté de construire de telles machines est si grande que dans les meilleurs modèles les résistances passives absorbent environ les $\frac{4}{5}$ du travail produit par le piston.

120 degrés ; dans ces mêmes conditions, la tension de la vapeur d'eau est seulement de 1 et de 2 atmosphères.

D'un autre côté, tandis qu'il faut 532 unités de chaleur pour vaporiser 1 kilogr. d'eau déjà porté à 100 degrés, la chaleur latente de dissolution de l'ammoniaque est inférieure à 126 calories ; elle est donc au plus le quart de celle de l'eau.

Si en outre on peut réaliser dans le condenseur un vide comparable à celui qu'on obtient dans la partie correspondante d'une machine ordinaire à vapeur d'eau et s'il est possible d'employer toujours la même dissolution ammoniacale, la machine de M. Frot devra, pour les deux causes précédentes, réaliser une économie considérable de combustible.

Les deux difficultés que nous venons de signaler ont été résolues de la manière la plus heureuse par l'adjonction au générateur ordinaire d'un *condenseur* et d'un *dissoluteur*. Ces deux organes nouveaux sont les seuls à faire connaître, car dans les moteurs à ammoniaque le foyer, la chaudière, le piston, sont identiques à ceux des machines aujourd'hui adoptées. Nous prendrons pour type de notre description une locomobile de 15 chevaux construite par M. Claparède pour un service ordinaire, et transformée par M. Frot. Ce moteur se trouvait au palais de l'Exposition, dans le hangar du boulevard nord.

Le mélange de vapeur d'eau et de gaz ammoniac pris dans la chaudière à une température de 110 degrés et avec une tension de 6 atmosphères environ agit sur le piston, se détend et arrive dans le *condenseur*. Cet appareil se compose de tubes disposés en trois étages entre les parois opposées d'une double caisse métallique que traverse d'une manière continue un courant d'eau froide ; des divisions convenablement placées forcent les gaz à passer successivement dans l'intérieur des trois séries de tubes. Comme l'expérience montre que les gaz humides se refroidissent plus facilement que les gaz secs, la chambre qui sépare la première rangée de tubes de la seconde renferme une sorte de pomme d'arrosoir par laquelle le jeu d'une pompe injecte une dissolution ammoniacale non saturée prise à la chaudière et amenée à une basse température. Au sortir du condenseur, les gaz refroidis et mélangés avec beaucoup d'eau, provenant d'une part du liquide injecté, de l'autre de la vapeur liquéfiée, pénètrent dans le *dissoluteur* en passant par les nombreuses ouvertures d'une sorte de crible plongé

dans une dissolution ammoniacale non saturée. Dans cet appareil refroidi par des courants d'eau, les dernières parties du gaz sont dissoutes et absorbées. La dissolution ammoniacale ainsi ramenée à sa concentration primitive est renvoyée dans la chaudière par une pompe d'alimentation.

Dans son retour vers le générateur, la dissolution d'alimentation traverse des serpentins plongés dans la liqueur qui doit servir à l'injection. Entre ces deux masses liquides, la première froide, la seconde chaude, et qui se meuvent en sens inverse, se produit un échange de chaleur dont le résultat est d'amener la dissolution d'alimentation à une température presque égale à celle de la chaudière, et de refroidir d'une manière à peu près suffisante le liquide qui doit être lancé dans le condenseur.

La dissolution complète du gaz ammoniac est beaucoup plus difficile à obtenir que la condensation de la vapeur d'eau employée dans les machines à vapeur ordinaires; néanmoins la pression dans le condenseur n'est jamais supérieure à 35 ou 40 centimètres de mercure, soit une demi-atmosphère, en sorte que, pour une tension de 6 atmosphères dans la chaudière, la pression efficace sur le piston du cylindre à vapeur est encore de 5 atmosphères et demie.

Les dispositions imaginées par M. Frot réalisent donc la condition d'agir toujours sur une même masse de liquide voyageant sans cesse des condenseurs à la chaudière et de la chaudière aux condenseurs, soit à l'état de liquide, soit à l'état de vapeur. Il n'y a donc point à s'inquiéter de la valeur (8 fr. par cheval) de la dissolution ammoniacale à introduire dans le générateur; c'est une dépense peu considérable et qui n'a besoin d'être renouvelée qu'à de très-longs intervalles.

Les considérations théoriques précédentes montrent toute l'économie que l'on était en droit d'espérer de l'emploi du moteur à gaz ammoniac, mais l'expérience pouvait seule en montrer l'importance. Les essais ont été faits, en partie aux frais de S. M. l'Empereur, sur la locomobile de 15 chevaux qui figurait à l'Exposition. Les seules modifications apportées à cet appareil, construit pour le service ordinaire à la vapeur d'eau, ont été la substitution du fer au cuivre dans les parties où le métal pouvait être en contact avec le gaz, et l'adjonction du dissoluteur; la machine peut donc fonctionner alternativement à l'eau pure et

à l'ammoniaque, ce qui rend les essais comparatifs très-faciles. Par une série d'expériences, conduites avec le plus grand soin, M. Frot a trouvé que, pour un même travail produit, les consommations de charbon étaient entre elles comme les nombres 3 et 1. La machine marchant à l'ammoniaque brûle seulement le tiers du combustible nécessaire pour la marche à l'eau pure. Depuis quelques mois, une commission, nommée par S. Exc. le ministre de la marine, expérimente le nouveau moteur d'une manière suivie, et, bien que son rapport ne soit pas encore publié, nous savons néanmoins qu'elle reconnaît la très-grande économie de combustible obtenue par la substitution de l'ammoniaque à l'eau ordinaire.

En adoptant les nombres de M. Frot, le coefficient économique de la machine à ammoniaque serait $\frac{1}{3}$ et son rendement $\frac{1}{6}$, le triple de celui des moteurs ordinaires.

Quelques chiffres donneront une idée de l'économie que le nouvel appareil va permettre de réaliser. La dépense ordinaire en combustible, dans une machine à vapeur travaillant 24 heures, est de 1 franc pour un cheval de force effective ; avec la machine de M. Frot, elle serait réduite de 66 centimes, soit de 2,600 francs par jour pour la machine du *Friedland*, qui est de 4,000 chevaux. De semblables réductions ne doivent point être négligées.

Nous voyons encore un autre avantage au moteur à ammoniaque. Personne n'ignore que, parmi les causes qui provoquent l'usure rapide et quelquefois l'explosion des chaudières, il faut compter en première ligne les dépôts solides qui se forment sur leurs parois si l'eau d'alimentation est chargée de sels calcaires ou de sel marin. Dans les machines de M. Frot, rien de semblable n'est à craindre ; le dépôt est forcément limité, puisque le même liquide passe et repasse sans cesse dans la chaudière, et en outre il n'y a aucune oxydation par l'eau elle-même, car l'ammoniaque, à la manière de toutes les bases, jouit de la propriété de conserver le fer sans altération aucune. Les chaudières auront donc une durée presque illimitée, tandis que pour la marine au moins elles ne durent aujourd'hui que 7 ou 8 ans.

La plus grande objection faite à l'appareil de M. Frot, ce sont les fuites qui, permettant à l'ammoniaque de s'échapper, devaient rendre inhabitables les abords de la machine. On sait que les

pertes par les joints fixes ne sont jamais à craindre ; reste donc les fuites par les *presse-étoupes*, au travers desquels passe les tiges des pistons et des tiroirs. Or, par la saponification des huiles et des graisses, l'ammoniaque donne un savon onctueux assez liquide pour lubréfier parfaitement les surfaces frottantes et ayant assez de consistance pour s'opposer complétement au passage des gaz ; il se trouve même que les joints insuffisants avec la vapeur d'eau deviennent excellents dès que l'ammoniaque est introduite dans la chaudière. Les résultats de l'expérience répondent donc et au delà à toutes les objections.

La locomobile de M. Frot a fonctionné d'une manière continue et sans accident aucun pendant quatre mois ; il ne faut point d'ailleurs s'exagérer l'importance des accidents qui pourraient survenir ; une explosion même serait moins redoutable qu'avec la machine à eau. Dans ce dernier cas, en effet, l'eau et la vapeur jaillissent du générateur à une température de 100 degrés et brûlent tout sur leur passage ; avec l'ammoniaque, la température du liquide projeté n'étant que de 50 degrés, son contact serait supportable : reste donc seulement un danger d'asphyxie qui ne peut être bien considérable, à cause de la rapidité avec laquelle disparaissent des gaz aussi peu denses que l'ammoniaque.

La transformation des moteurs actuels en machines à ammoniaque conduirait donc à une économie considérable de combustible, à la possibilité de prolonger beaucoup les distances que peuvent parcourir les bâtiments à vapeur, et dans tous les cas à un abaissement considérable du frêt. Elle réaliserait aussi la conservation presque illimitée des chaudières et une diminution des dangers d'une explosion. A ces divers titres, la machine de M. Frot est digne de l'examen réfléchi des ingénieurs et des industriels.

G. Rayet.

III

LES CHEMINS DE FER A L'EXPOSITION UNIVERSELLE

Les difficultés de tous genres que présentent l'établissement et l'exploitation d'un chemin de fer ont été et sont chaque jour résolues de diverses manières. Le tracé de la voie et le mode d'exploitation réagissent l'un sur l'autre et sont en outre subordonnés à la question de dépense. Les grandes lignes, celles dont la construction répondait à un intérêt général, ont coûté fort cher, mais elles se présentent avec de faibles rampes et des courbes de grand rayon, conditions excellentes pour la circulation rapide d'un grand nombre de trains. Le réseau qui reste à construire ne produira pas immédiatement d'aussi grands résultats, son effet sera local et ce ne sera que d'une manière indirecte qu'il réagira sur la prospérité générale ; les bénéfices seront plus faibles ; dans certains cas même, on peut prévoir que les dépenses d'exploitation dépasseront les recettes, au moins dans les commencements. On conçoit dès-lors qu'il faut rechercher des conditions de bon marché dont on ne s'est guère préoccupé jusqu'à ces dernières années : il faudra s'attacher à suivre le plus possible le terrain naturel pour éviter les grands mouvements de terre, les ouvrages d'art, viaducs ou tunnels et ces conditions ne sont réalisables qu'en admettant pour les rampes et les courbes des limites bien différentes de celles auxquelles on s'arrêtait autrefois ; or les machines locomotives ne peuvent servir indifféremment, en produisant le même effet utile, dans toutes les conditions : on avait déjà créé des types pour la grande vitesse, pour le service des trains de marchandises, puis un type mixte ; on a maintenant le type des machines à fortes rampes, ces machines devant en outre être capables de tourner dans des courbes de petits rayons.

L'adhérence entre les roues motrices et les rails limite le poids du train que la machine met en mouvement, et l'on doit s'efforcer d'augmenter cette adhérence ce qui peut s'obtenir en augmentant le poids que supportent les roues motrices. Si toutes les roues de la locomotive sont des roues motrices, l'adhérence

sera aussi considérable que possible et la machine produira le maximum d'effet, si la chaudière peut fournir en un temps donné une suffisante quantité de vapeur. On est arrivé ainsi à réunir deux, trois et même quatre roues, par une grande bielle qui leur transmet le mouvement imprimé à l'une d'elles par le piston moteur ; les roues sont dites roues couplées. Mais cette disposition devient vicieuse dans les courbes, si l'écartement des roues extrêmes est un peu grand ; on laisse donc libre une paire de roues, deux quelquefois, sans compter celles du tender, et l'on se prive de toute l'adhérence correspondant au poids supporté par les essieux de ces roues. De nombreuses tentatives ont été faites pour obtenir que toutes les roues soient reliées quant à la transmission de la force, tout en étant indépendantes quant à la direction. Les systèmes qui nous paraissent les plus remarquables sont : le système Engerth, qui fut employé dans la traversée des Alpes Noriques et qui est le point de départ des machines dont toutes les roues reçoivent le mouvement du piston ; ce système modifié constitue la machine autrichienne Steierdorf ; le système Beugniot employé sur les chemins de fer de l'Italie centrale ; le système Rarchaert que l'on doit appliquer en Amérique pour la première fois, et dont on ne peut par suite déterminer la valeur pratique ; au point de vue géométrique la solution est fort bonne.

Mais, est-il convenable de chercher à relier quatre, cinq et six paires de roues ; l'usure inégale des roues n'amènera-t-elle pas un mauvais fonctionnement ; il est à craindre que ce ne soit là un inconvénient grave, et cette crainte conduisit d'habiles ingénieurs à rechercher dans une autre idée la solution du problème.

Si chaque roue, ou plutôt chaque groupe de deux ou trois roues, mais non plus, est mue directement par un piston, on utilisera de même tout le poids de la machine pour obtenir l'adhérence, et l'on évitera la difficulté d'accoupler un grand nombre de roues. De nombreux projets ont été présentés, des essais ont été faits, et les résultats ont généralement été satisfaisants. Les ingénieurs piémontais ont imaginé l'accouplement de deux machines, constituant un moteur double, les deux machines sont adossées, et chacune porte l'eau et le charbon qui leur est nécessaire ; en outre, les mouvements des roues se commandent l'un l'autre par l'intermédiaire d'un faux essieu ; cette machine perait satisfaire aux conditions imposées. La machine anglaise Fairlie, est constituée

par une double chaudière avec deux foyers et deux cheminées; quatre pistons donnent le mouvement à deux groupes de trois essieux pouvant librement tourner indépendamment l'un de l'autre. La machine de Meyer et fils consiste en une chaudière de grandes dimensions portée sur des trains articulés et envoyant la vapeur à deux, trois paires de cylindres, chaque train articulé ayant une paire de cylindres. Enfin la machine Petiet, remarquable par ses grandes dimensions et son énorme puissance de vaporisation, possède deux paires de cylindres qui donnent le mouvement à deux paires de roues de grand diamètre pour les locomotives rapides, ou à six paires de roues divisées en deux groupes indépendants, pour les machines à marchandise. Ce type, aujourd'hui abandonné, est un des plus puissants qui aient été construits.

Quelquefois ce n'est que dans un endroit déterminé, à certaines rampes, que l'on a besoin d'une force surpassant celle des machines ordinaires. Pour éviter l'emploi inutile de ces locomotives à quatre cylindres, on peut chercher à adjoindre à l'instant convenable le tender comme machine motrice, en reliant ses roues à un piston spécial que l'on ne met en rapport avec la chaudière que lorsque l'on atteint la rampe à franchir. Ce système a été proposé par M. Verpilleux, dès 1846; il est actuellement en usage au chemin de fer de l'Est. M. Flachat alla plus loin et proposa, pour la traversée des Alpes, d'envoyer la vapeur dans des cylindres fixés à chaque wagon, ou du moins à plusieurs d'entre eux. Tous ces systèmes, sauf le dernier, étaient représentés à l'Exposition, soit par des dessins, soit même, pour la plupart, par les machines, qui presque toutes apportaient de remarquables états de service.

L'emploi des machines puissantes que nous venons de rappeler sommairement a permis la mise en exploitation de chemins de fer présentant de fortes rampes; depuis longtemps la machine atmosphérique qui remorquait les trains entre le Pecq et Saint-Germain a été abandonnée, et le service se fait au moyen d'une locomotive. Un embranchement entre Enghien et Montmorency a été ouvert cette année; il présente, sur une longueur de 1 kilomètre, une rampe de 45 millimètres par mètre; malgré cette énorme inclinaison, le service se fait régulièrement au moyen d'une locomotive à fortes rampes du chemin de fer du Nord; il est vrai que le matériel, construit spécialement pour cette section, est fort léger.

Ainsi que nous l'avons déjà exposé, le manque d'adhérence est la cause qui limite la puissance des locomotives ; ne pourrait-on l'augmenter sans faire varier dans le même rapport le poids de la machine, poids que l'on ne peut négliger dans l'évaluation de l'effet utile et dont l'importance s'accroît d'une manière considérable dans les rampes. M. le baron Séguier résolut cette question il y a longtemps déjà ; son système a reparu dernièrement sous le nom de système Fell et a été employé pour le service de la traversée du mont Cenis en attendant l'ouverture du tunnel de Bardonnèche. Un rail d'une forme spéciale est placé au milieu de la voie, il présente à une petite hauteur au-dessus du sol deux faces verticales ; outre les roues motrices habituelles la locomotive porte sous le châssis deux roues horizontales mues aussi par l'action de la vapeur, et qui viennent rouler sur les faces latérales du rail moyen contre lequel on peut les presser autant qu'on le veut, comme si l'on devait laminer le rail entre les roues ; mais le rail étant fixe et les roues mobiles, ce sont ces dernières qui avancent en entraînant la locomotive et le train. Ce système est éminemment rationnel, et tout porte à croire qu'il pourrait être appliqué avantageusement dans un grand nombre de cas.

Si les rampes à desservir sont très-rapides, il arrive une limite à laquelle la locomotive peut encore monter, mais sans rien pouvoir entraîner. Il est certain qu'à partir de cette limite, et même dans la pratique avant qu'on l'ait atteinte, il faut renoncer à l'emploi de ces machines ; les rampes prennent alors plus spécialement le nom de plans inclinés, et la traction se fait généralement par le moyen de machines fixes placées au sommet et remorquant les trains par l'intermédiaire d'un câble. C'est ainsi qu'est encore desservi le plan incliné de la Croix-Rousse à Lyon [1]. C'est aussi au moyen de machines fixes que l'on parvient à remonter les trains sur le plan incliné de Dusino près Turin. Mais ici le système de remorquage, inventé par le chevalier Agudio, diffère des précédents d'une manière bien remarquable et nous devons insister quelque peu. Deux machines fixes sont situées, l'une à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure du plan incliné ; elles communiquent un mouvement rapide, 18 mètres par seconde, à un câble sans fin qui

[1] Voyez *Annuaire* de 1864. *Le chemin de Lyon à la Croix-Rousse*, par M. Menu de Saint-Mesmin, p. 337.

monte par suite d'un côté de la voie, tandis qu'il descend de l'autre. Ce câble en fil d'acier peut agir comme une courroie sans fin et peut servir à transporter en un point quelconque de sa longueur la force des machines qui le font mouvoir. Une voiture d'une forme spéciale, nommée locomoteur, est placée en tête du train; elle porte de chaque côté des poulies sur lesquelles s'enroule le câble sans fin qui les fait tourner. Ce sont ces poulies, sur lesquelles est ainsi concentrée la force qui fait mouvoir le câble, qui servent d'organes moteurs; elles communiquent leur mouvement aux roues du wagon par le moyen d'engrenages convenablement disposés; mais ces roues ne peuvent entraîner le train qu'à la condition que l'adhérence atteindra une valeur suffisante. Cette adhérence est obtenue par l'adjonction du système Séguier; la force est communiquée à six roues horizontales agissant latéralement sur un rail central contre lequel on peut les presser fortement et qui augmentent considérablement la puissance de la machine.

Les résultats obtenus par l'emploi de ce système nous paraissent remarquables et de nature à conduire à l'abandon des locomotives pour l'exploitation des rampes un peu fortes. La locomotive est d'un poids considérable tant par sa chaudière et son mécanisme que par ses approvisionnements d'eau et de charbon, et une majeure partie de la force est employée à mettre cette énorme masse en mouvement; dans le cas où l'on veut arrêter le train, il faut détruire ou plutôt transformer la force vive que possède non-seulement le train, mais aussi la locomotive, ce qui exige un temps assez considérable, alors que bien souvent on aurait tout intérêt à s'arrêter très-promptement. Dans le système Agudio, le locomoteur est d'un faible poids qui n'est que le quart ou le cinquième du poids des locomotives de montagne; par là on évite les inconvénients que nous venons de signaler. On peut, en outre, utiliser pour les machines fixes la force des chutes d'eau considérables en général dans les pays de montagne, auxquels ce système est spécialement destiné; enfin, à la descente, le câble pourrait agir en cas d'accident pour arrêter rapidement le train. Ce système est applicable, il est même appliqué, sur des rampes inclinées au dixième, sur lesquelles les plus fortes locomotives pourraient à peine se remorquer; il se prête au passage des courbes de 100 mètres de rayon avec facilité. Le câble repose librement sur des poulies

de forme spéciale tournant presque sans frottement, par suite du mode de suspension ; le mouvement peut cesser d'être communiqué des poulies aux roues motrices presque instantanément, et de puissants freins, sortes de mâchoires qui viennent serrer le rail central, permettent un arrêt d'autant plus rapide qu'il n'y a pas de poids mort agissant par sa masse.

La transmission de la force à distance par le câble doit donner lieu, surtout dans les courbes, à d'assez grandes pertes, mais on peut y remédier sans inconvénient notable en augmentant la puissance des machines motrices. Ce système a été expérimenté pendent deux ans déjà et avec succès ; des ingénieurs français et italiens ont constaté qu'il serait d'un emploi économique même dans le cas où les machines fixes seraient mues par la pression de la vapeur et non par l'eau ; nous ne pouvons faire mieux que de rapporter l'opinion d'un homme des plus autorisés en pareille matière, M. Couche, ingénieur en chef des mines.

« Supérieur à la locomotive, parce que les rampes si limitées pour elle, n'ont pour lui d'autres limites que celle incertaine encore, mais certainement fort large, qu'assigne la sécurité; supérieur aux plans à traction directe, parce qu'ils se refusent à admettre les courbes, parce que leur longueur est très-limitée, parce que, enfin, l'effet utile du moteur y est faible, même pour des inclinaisons et des longueurs très-restreintes, le système de M. Agudio constitue un instrument nouveau, puissant, qui aidera l'ingénieur à triompher rapidement et à peu de frais des obstacles naturels. »

Un système présenté par un ingénieur russe a beaucoup attiré l'attention du public, surtout à cause du petit modèle fort bien exécuté que l'on voyait exposé dans le parc ; c'est le *Mahovos*. Il a pour but de faciliter l'exploitation des lignes présentant des rampes et des pentes assez fortes, et même de desservir seul un plan incliné sur lequel le trafic serait assez considérable. Un volant d'un poids considérable et composé de deux roues distinctes mais calées sur un même axe est porté par un wagon spécial ; l'axe de ce volant peut, à volonté, être en rapport par des engrenages avec les roues qui portent le châssis, ou bien être rendu tout à fait libre. A la descente, ce wagon spécial est mis en rapport avec le train et le volant qu'il supporte est relié aux roues ; une partie de la force vive que le train prendrait s'il était seul, est absorbée par le mou-

vement de rotation communiqué au volant ; la vitesse est donc diminuée par là même. Si une partie horizontale survient, on soulève le volant qui, tournant sur des poulies folles, est sans action sur le train et perd une faible partie de sa puissance vive eu égard aux précautions que l'on a prises pour diminuer les frottements. Si une nouvelle pente se présente, on opère comme nous avons dit la première fois : on opère aussi de même lorsque survient une rampe, le volant rend alors sous forme de travail mécanique la force vive absorbée précédemment et aide à la locomotive à remorquer le train. Ainsi régulateur et frein à la descente, effet nul en pays plat, action motrice lorsqu'une rampe se présente, tels sont les divers modes d'agir du Mahovos : ces solutions sont-elles bien celles que l'on doit espérer? nous ne le croyons pas et nous expliquerons nos raisons après avoir indiqué l'emploi du Mahovos pour l'exploitation d'un plan incliné.

Si pour une raison quelconque les trains sont moins lourds à la montée qu'à la descente, si par exemple il ne s'agit que de faire gravir la rampe à des wagons vides, la question sera facilement résolue. Le Mahovos est mis en queue d'un train plein qui descend et dans ce mouvement acquiert une force vive proportionnelle au poids de l'ensemble des wagons; au pied du plan incliné le volant est rendu indépendant, et le train s'arrête soit sous l'action seule du frottement, soit sous celle des freins. Le Mahovos détaché et amené sur une plaque tournante est retourné bout pour bout et fixé en tête du train vide qui doit remonter; le volant est de nouveau rendu solidaire des roues, les entraîne par son mouvement et le train se met en marche ; eu égard à la différence des poids dans les deux sens et au peu de frottement produit, le train pourra arriver à la station supérieure. Si c'était au contraire à la montée que les trains fussent le plus lourds, et c'est là le cas le plus général, on joindrait à chaque train des wagons citernes que l'on remplirait d'eau à la partie la plus élevée du plan incliné, et que l'on viderait en bas en même temps que l'on ferait tourner le Mahovos; on pourrait toujours s'arranger de telle sorte que le poids de l'eau ainsi employée fût supérieur notablement aux poids des matières à transporter à la montée ; dès lors, le même effet que dans le premier cas se présenterait, et l'exploitation serait assurée sans machine motrice à proprement parler.

Ce système charme au premier abord, les calculs sont con-

cluants ; la chose n'est pas seulement possible, elle se passerait certainement comme l'inventeur l'indique. Mais il se présente ici comme plus haut la question de poids mort ; elle n'intervient qu'en cas d'accident, il est vrai, mais n'est-ce pas assez, n'est-ce pas trop ? Que pour une cause quelconque une partie du train subisse un arrêt et le Mahovos agira d'abord par son poids mort, il agira également par la force vive qu'il a accumulée et dont les effets se produisant surtout dans un temps très-court, seront terribles : s'il y a des courbes à la descente, on doit craindre un déraillement. Ces questions doivent mettre en suspicion ce système et nous croyons que, malgré la dépense certainement beaucoup plus forte, le système Agudio est bien préférable.

Nous avons épuisé les questions qui se rapportent aux moteurs, mais ce ne sont pas les seules que font surgir les chemins de fer. Les freins actuellement employés n'ont pas toujours une efficacité suffisante et de nombreux systèmes sont en expérience ; ils ont tous ou à peu près pour but d'arriver à produire rapidement un grand effet par un faible effort du garde-frein. Bien des dispositions sont ingénieuses, bien des détails intéressants, nous ne pouvons nous y arrêter. Nous devons signaler cependant un frein employé sur quelques locomotives du chemin de fer du Nord (système de Bergues) et basé sur la transformation de la force vive en travail servant à comprimer de l'air ; ce frein est en usage à la descente entre Montmorency et Enghien, son emploi est satisfaisant. Mais le système qui nous paraît le plus remarquable est celui du frein Achard, dont la marche est réglée par l'électricité et dans lequel un garde-frein peut serrer immédiatement *tous* les freins du convoi ; les freins sont aussi serrés automatiquement partout dans le cas où, par suite d'une rupture, une partie du train serait séparée du reste du convoi. Ce système, basé sur un nouveau principe, satisferait complétement aux diverses conditions qu'exige la prudence, si l'on pouvait être plus assuré d'une marche constante et régulière du courant électrique.

Nous ne pouvons parler de l'application de l'électricité aux trains en marche, sans signaler les résultats obtenus par le système Prudhomme, mais sous la même restriction. Chaque compartiment du train est en communication électrique avec le fourgon de tête, ou le fourgon de queue : les employés placés dans ces fourgons sont également prévenus automatiquement en

cas de rupture du train, et peuvent agir directement sur les freins et prévenir aussitôt le mécanicien.

Cette question de la communication des voyageurs avec le chef de train est des plus importantes. Qu'arriverait-il si le feu prenait à un wagon dans un train express et ne serait-on pas grillé vif avant la prochaine station? Le remède le plus complet serait la libre communication entre les divers wagons; l'Exposition nous montrait à l'étranger des voitures parfaitement construites dans ce système, et tandis qu'en France on parque le voyageur dans un compartiment dont il ne peut sortir, ailleurs, un couloir régnant dans toute la longueur du train lui permet de changer de place à son gré et de rompre ainsi quelque peu la monotonie d'un long trajet. Le train contient un cabinet de toilette à la disposition des voyageurs, et toutes les précautions sont prises pour lui permettre d'éviter les inconvénients d'un voyage avec des arrêts courts et peu fréquents. Nos compagnies ne paraissent pas même disposées à faire des essais dans ce sens; nous savons que le poids d'un wagon vide est énorme et qu'on diminuerait encore l'effet utile par l'établissement d'un couloir qui supprimerait des places. Mais ne doit-on pas renoncer à la construction actuelle des châssis et des caisses de wagons, le temps n'est-il pas venu d'employer le fer? Les wagons du chemin d'Enghien à Montmorency, dont nous avons déjà parlé, montrent la voie dans laquelle il faudrait marcher; la diminution de poids permettrait de diminuer, sans perte, le nombre des places et d'introduire des améliorations réclamées depuis longtemps déjà. La question de poids du matériel est d'une importance capitale dans les chemins de fer d'intérêt local; on a pu voir à l'Exposition des wagons qui, par l'adjonction d'un second étage, contiennent presque deux fois autant de voyageurs que les wagons ordinaires sans que pour cela le poids soit augmenté notablement; l'étage supérieur est du reste fermé. C'est là une excellente tentative, et il serait à désirer qu'il s'en présentât d'autres analogues, car c'est plutôt dans le poids du matériel que dans la diminution de largeur de la voie que l'on doit rechercher la solution des chemins de fer économiques, c'est du moins un élément très-important de cette solution.

Nous ne pouvons passer sous silence les travaux exécutés sur le chemin de fer du Nord à la sortie de Paris; ils sont très-intéressants au point de vue de la sécurité des voyageurs; ils sont exécu-

tés depuis deux années, mais un modèle en relief présenté à l'Exposition et la récompense accordée par le jury rendent la question actuelle.

La gare du Nord dessert trois lignes bien distinctes, Pontoise, Chantilly et Soissons; les questions d'importance de ces lignes ainsi que de convenance, d'aménagements, n'ont pas permis de disposer au départ les voies dans l'ordre qu'indiqueraient les positions respectives de ces villes, et dès lors, à la séparation des lignes, les voies se coupent; il n'y avait ainsi pas moins de quatre ou cinq croisements. On sait quel est le danger de ces croisements et combien sont terribles les accidents se produisant à la suite de la rencontre de deux trains. La difficulté a été très-heureusement vaincue : à quelque distance du point où un croisement avait lieu, l'une des voies monte et l'autre descend ; lorsque la différence de niveau est suffisante, la voie la plus élevée franchit l'autre à l'aide d'un pont de fer ; à partir de ce moment, elles reprennent par des pentes douces leurs niveaux respectifs. Il y a ainsi autant de ponts qu'il y avait de croisements de voie ; la dépense a dû être forte, eu égard surtout à ce que ces travaux devaient s'exécuter sans interrompre la circulation des trains ; mais au moins la sécurité la plus complète est assurée. Ce système, croyons-nous, devrait être appliqué désormais chaque fois qu'il se présentera un croisement de voie.

Tels sont, en résumé, les sujets intéressants que nous offrait l'étude des chemins de fer à l'Exposition. Nous ne craignons pas d'affirmer que c'est la partie de la mécanique dont les progrès ont été les plus considérables dans le quart de siècle qui vient de s'écouler : on ne peut que s'en féliciter et souhaiter vivement l'établissement d'un réseau desservant les pays les moins riches, les moins avancées actuellement. C'est un puissant moyen d'instruction que cette communication rapide et fréquente avec les grands centres; à ce point de vue et non-seulement à celui de l'augmentation du commerce, on doit en souhaiter la généralisation. Mais il faut, pour cela, entrer hardiment dans une nouvelle voie, et rechercher l'économie de tous les côtés; c'est un point de vue auquel nous avons tâché de nous placer quelquefois et qui sera sous peu, sans aucun doute, d'une actualité encore plus saisissante qu'aujourd'hui : nous y reviendrons alors volontiers, si l'occasion s'en présente.

C. M. Gariel.

IV

DES FREINS ET DES SIGNAUX DE CHEMINS DE FER

Deux perfectionnements importants, mis en relief par l'Exposition universelle de 1867, ont vivement sollicité l'attention des ingénieurs chargés de l'exploitation technique des chemins de fer : — Machines locomotives employées comme freins modérateurs de la vitesse des trains ; — Appareils de sûreté réglant le passage des trains aux bifurcations et à l'entrée des gares. Essayons d'en résumer les principes.

Un train lancé à toute vapeur peut rencontrer sur sa route un obstacle imprévu ou un signal qui l'oblige de se mettre à l'arrêt sous peine des conséquences les plus graves ; il faut que cet arrêt se produise dans le plus court espace possible de chemin et de temps.

Quels sont les moyens dont le mécanicien dispose pour obtenir ce résultat ? — 1° Les freins ordinaires. — 2° La contre-vapeur.

Les freins ordinaires sont des appareils qui, par une transmission de mouvement, impriment au pourtour des roues d'un certain nombre de véhicules du train une pression qui, en développant un frottement suffisant, allant quelquefois, mais à tort, jusqu'au callage produit un travail retardateur, destiné à détruire celui que les véhicules développent en vertu de la vitesse acquise. Plus cette vitesse est grande, plus la masse du train est considérable, plus grande aussi est la force qu'il s'agit de maîtriser et enfin d'annuler.

Abstraction faite des freins automoteurs, qui n'ont jusqu'ici accompli qu'une partie de leur programme, les freins sont généralement manœuvrés par le personnel du train. Quelque vigilant que soit ce personnel, il se passe toujours un temps appréciable entre le commandement du mécanicien qui ordonne de serrer les freins par deux coups de sifflet brefs, rapprochés, et la manœuvre des appareils. Ce temps appréciable, cette fraction de minute peut, quand il s'agit de vitesses qui dépassent quelquefois 25 mètres par seconde, prendre une importance ca-

pitale dans certains cas; aussi les mécaniciens en détresse ont-ils fréquemment fait usage du renversement de la distribution de vapeur dans les cylindres, manœuvre qui a pris le nom de *marche à contre-vapeur*. Que se passe-t-il à la suite de ce renversement? Chaque piston des cylindres moteurs, au lieu d'être chassé par la vapeur venant de la chaudière, aspire, refoule et comprime, au contraire, vers le générateur, en vertu de l'impulsion que lui impriment la machine et le train qui la pousse, non-seulement la vapeur occupant les cylindres et les tuyaux abducteurs, mais encore l'air et les gaz qui remplissent les tuyaux d'échappement et la cheminée. Dans ce refoulement, le moteur produit un travail résistant opposé à celui que développent les véhicules en mouvement et qu'il parvient à dominer à son tour.

Ce travail résistant, retardateur, ne pouvait jusqu'à ces derniers temps se développer qu'au prix de deux inconvénients très-graves :

1° Élévation subite de la pression dans la chaudière en suite du refoulement des gaz aspirés par les pistons et ce, à un degré d'intensité tel, que la résistance des parois de la chaudière peut en être compromise;

2° Production de chaleur considérable qui peut amener l'altération des garnitures des pistons et des cylindres, par le travail de compression des gaz dans les cylindres, l'introduction des cendres entraînées, et l'absence de lubrification.

D'autres inconvénients de détails viennent en outre s'ajouter aux précédents, notamment l'intermittence de fonctionnement des injecteurs Giffard, gênés dans leur action par le mélange des gaz fixes et de la vapeur que renferme la chaudière à la suite du simple renversement des tiroirs.

C'est dans ces errements que fonctionnait, jusqu'à ces derniers temps, la transformation de l'appareil moteur de la machine locomotive en appareil résistant, transformation très-utile en principe, puisqu'il s'agit d'opérer, au moyen de l'organe même qui a produit le mouvement : le ralentissement, l'annulation de ce mouvement, l'arrêt.

Pour mettre ce principe à profit d'une manière pratique, il s'agissait d'éviter le grippement des surfaces produites par l'introduction dans les cylindres des gaz chauds chargés de cendres, d'une part, et l'élévation subite de la pression dans le générateur, d'autre part. M. de Bergue a tourné ces difficultés en pui-

sant l'air atmosphérique en dehors de la boîte à fumée et en le refoulant dans un récipient spécial. Depuis plus de deux ans on peut voir à la descente du chemin de fer de Saint-Germain au Pecq fonctionner des machines refoulant l'air dans un vase en fonte muni d'une soupape et d'un robinet, au moyen desquels le mécanicien peut régler le degré de compression de l'air et, par conséquent, l'intensité du ralentissement.

Cet appareil, de construction compliquée d'ailleurs, réclame un espace de temps assez long quand il doit entrer en fonctionnement. Pour modérer la vitesse de marche ou produire l'arrêt, le mécanicien passe en effet par la série des mouvements suivants :

1° Fermer le régulateur, ouvrir en même temps la communication entre l'atmosphère et les cylindres moteurs, et entre les tiroirs de distribution et le réservoir d'air ;

2° Renverser la distribution, c'est-à-dire changer le sens du mouvement des tiroirs ;

3° Régler le robinet de dégagement de l'air comprimé.

D'après des expériences répétées sur plusieurs sections des chemins de fer de l'Est, le frein à air comprimé peut fonctionner sans trop d'embarras sur un parcours de 2 ou 3 kilomètres, mais au delà l'échauffement des garnitures se produit à un degré tel qu'il faut renoncer à conserver l'usage de ce frein.

M. Le Chatelier, ingénieur en chef des mines, a tenté d'échapper à quelques-uns des inconvénients de l'appareil de Bergue, en prenant d'abord comme fluide compressible un mélange d'air et de vapeur, et plus tard un mélange d'eau et de vapeur. Sur ses indications, les ingénieurs du chemin de fer du Nord de l'Espagne, puis ceux de plusieurs chemins de fer français ont muni un certain nombre de machines de l'appareil à contre-vapeur basé sur les données qui suivent :

On injecte, dans la tuyère de l'échappement, de la vapeur prise sur la chaudière. Cette vapeur aspirée dans les cylindres, au lieu des gaz fixes de la boîte à fumée, est refoulée dans le générateur. Mais la compression qu'elle subit dans les cylindres élève sa température et produit les effets désastreux signalés plus haut. Si, à cette vapeur injectée dans la tuyère, on ajoute une certaine quantité d'eau prise également dans le générateur, ce liquide absorbe la chaleur développée par le travail de compression. Il suffit alors de régler par des robinets convenablement disposés l'injection des

deux fluides pour obtenir de la machine un travail résistant capable de déterminer sur le train en mouvement le ralentissement et l'arrêt.

Voici les différentes manœuvres à opérer pour mettre en fonction le travail du frein à vapeur :

1° Ouvrir en grand les robinets d'injection de vapeur et d'eau, de manière à remplir du mélange des deux fluides les tuyaux d'échappement ;

2° Placer le levier de mise en marche au point mort ;

3° Ouvrir en grand le régulateur ;

4° Renverser la distribution des tiroirs en plaçant le levier de mise en marche au cran qui convient à l'intensité de l'effort que l'on veut produire.

Telles sont les différentes opérations que le mécanicien doit exécuter lorsqu'il s'agit d'obtenir de la machine un simple ralentissement ou bien encore lorsqu'il faut modérer sur une pente l'action que la gravité imprime au train.

Quand on veut arrêter brusquement, ce qui est le cas d'un train en danger de collision, de rencontre d'un obstacle sur la voie ou de déraillement, la manœuvre est plus simple :

— Ouvrir l'injection d'eau et de vapeur ;

— Renverser le levier de mise en marche au dernier cran de la marche en arrière ;

— Ouvrir en grand le régulateur.

Pendant ce temps, le chauffeur, à l'aide du sifflet, commande les freins du train, puis serre le frein du tender.

La manœuvre du levier de mise en marche, difficile en temps ordinaire, n'est pas sans quelque danger dans le cas de renversement brusque de la distribution ; aussi a-t-on reconnu le nécessité de remplacer le levier et son secteur à cran par une vis manœuvrée au moyen d'un petit volant. En quelques tours de vis on ramène la distribution au point voulu.

Quelques ingénieurs, frappés des avantages incontestables que donnait l'emploi ainsi réglé de la contre vapeur, ont pensé que son application devait pouvoir s'étendre à tous les cas où les freins ordinaires étaient employés, ce qui eût été un résultat considérable. On aurait par là diminué les frais d'entretien des freins et des bandages usés par le glissement sur les rails résultant du callage des roues sous l'action des sabots de freins, et les dépenses de

personnel chargé de la manœuvre de ces appareils. Mais l'expérience a démontré que si le frein à contre-vapeur est applicable avec succès sur des parcours de peu d'étendue et avec un effort de compression modéré, il ne peut sans inconvénient, dans l'état actuel, retenir seul, sur des pentes de plus de 10 kilomètres de longueur et de 15 à 20 millimètres d'inclinaison, des trains que la machine a pu remonter sur ces mêmes rampes. D'après de récentes expériences effectuées sur les lignes de l'Est, on remédie à une grande partie des inconvénients de la marche à contre-vapeur en refoulant le mélange de vapeur et d'eau dans un récipient indépendant de la chaudière. Mais en résumé, pour tirer tout le parti possible de la contre-vapeur sans compromettre la machine, il ne faut demander à la locomotive qu'un effort de résistance inférieur à l'effort de traction qu'elle peut développer, et utiliser avec mesure les freins dont le train dispose. Et d'ailleurs ces deux efforts dussent-ils être égaux en marche normale, il ne faudrait encore point prétendre à la suppression des freins à main, comme on avait cru pouvoir le faire immédiatement après les premières applications du nouveau moyen d'enrayage. Quand un train gravit une rampe, machine en tête, s'il survient une rupture d'attelage, il faut pouvoir enrayer la partie détachée du train. Les freins à main seuls peuvent satisfaire à cette condition. Qu'adviendrait-il, d'un autre côté, si, au moment où le frein doit agir, la vapeur venait à manquer en conséquence d'une rupture de tube, par suite de fusion d'un bouchon de sûreté, ou bien qu'une pièce du mécanisme refusât le service?

Ces simples indications suffisent pour démontrer avec la plus complète évidence que les freins à main devront être conservés, mais que leur usage sera considérablement réduit et simplifié par l'heureuse application de la contre-vapeur, lorsque les divers inconvénients inhérents à toute invention nouvelle auront disparu par une étude plus complète.

Examinons maintenant les appareils de sûreté qui règlent le passage des trains aux bifurcations et à l'entrée des gares.

Tous les voyageurs en chemin de fer ont remarqué près d'un point de jonction de deux lignes ou aux approches d'une gare, des appareils de forme et de couleur très-tranchées, propres à commander l'attention et qui sont armés d'un mécanisme qui leur fait prendre deux positions différentes bien définies. Ces appareils

portent le nom de *signaux à distance*, *signaux avancés*. Le jour, ils présentent généralement une face rectangulaire ou circulaire rouge, facilement perceptible pour l'observateur placé à une certaine distance et dans l'axe de la voie. La nuit, une lanterne qui lance ses feux rouges dans la même direction remplace la face rouge du disque.

Ce signal, c'est un signal d'*arrêt*, un commandement impérieux, absolu, qui ordonne au mécanicien, dès qu'il l'aperçoit, de mettre en jeu tous les moyens disponibles pour ne plus avancer, et ce dans le plus bref délai possible. Quand le train a fait une pose plus ou moins longue, on voit généralement le signal rouge s'effacer, la lumière rouge faire place à une lumière de couleur différente. Par ce changement de signal, télégraphe de convention qui indique la voie libre, le mécanicien est autorisé à poursuivre sa route.

Ce signal, qui a ainsi passé de la *voie fermée* à la *voie ouverte*, est manœuvré par un agent préposé à la garde de cet appareil, en vertu d'instructions qui en règlent les mouvements.

Si maintenant nous supposons un autre train venant sur une voie secondaire qui en un certain point se réunit au moyen d'un branchement à celle où circule le premier train, et que l'on n'ait point eu soin de s'assurer que le premier train était arrêté avant de donner entrée sur la première voie par les aiguilles du branchement, on aura toutes chances pour voir se produire une collision entre les deux trains, si les mécaniciens n'ont pas eu le temps, — ce qui est généralement le cas, — de s'apercevoir d'assez loin pour réduire la vitesse et éviter une rencontre.

Ce résultat désastreux est à craindre, si les manœuvres des signaux avancés et des aiguilles qui donnent entrée sur les bifurcations ne sont pas rendues parfaitement solidaires. Malgré toute son attention, toute sa vigilance, un garde préposé à la manœuvre de plusieurs aiguilles ou signaux avancés peut se troubler et par une fausse manœuvre amener de déplorables accidents.

M. Vignères, ingénieur attaché au chemin de fer de l'Ouest, a imaginé une très-heureuse disposition pour relier les signaux avancés entre eux et aux aiguilles, afin de régler l'ordre du passage des trains soit aux embranchements, soit à la sortie et à l'entrée des gares.

Quel était, en effet, le problème à résoudre? Empêcher un train quittant une voie de s'engager sur une autre voie avant que la circulation ne soit interceptée sur cette dernière. Dans ce but, M. Vignères ajoute aux leviers de manœuvre qui commandent les signaux avancés ou à ceux qui dirigent les aiguilles de branchement, des *enclanchements* ou verrous qui empêchent d'ouvrir une voie *avant* qu'elle soit protégée par un signal d'arrêt ou réciproquement. Ces verrous, en pénétrant dans des encoches pratiquées sur les tringles de transmission de mouvement, condamnent au repos absolu ces tringles et du même coup les appareils qu'elles commandent.

Pour mettre ces derniers en mouvement, il faut *d'abord* manœuvrer le premier levier qui déclanche les tringles du second appareil. Or, si le premier levier met un signal avancé à l'arrêt, ce signal *couvre* l'embranchement, c'est-à-dire qu'il empêche tout train de s'avancer vers la bifurcation. Dès lors rien ne s'oppose à ce qu'on ouvre la seconde voie, et la circulation peut s'y effectuer sans encombre.

Si dans ces nouvelles conditions les mécaniciens observent rigoureusement leurs instructions, s'ils respectent les signaux, il n'y a pas de collision possible, et la sécurité des trains ne se trouve nullement compromise par la négligence de l'aiguilleur.

Cette solidarité si nécessaire dans la manœuvre des aiguilles et des signaux aux bifurcations devient bien plus importante, disons le mot, devient indispensable aux stations et aux grandes gares de tête. Dans ces *terminus*, où les trains se pressent, où ceux qui arrivent se croisent en tous sens avec ceux qui partent, le moindre oubli, la plus légère distraction d'un agent livré à lui-même pourrait amener d'incessantes collisions, si on avait négligé d'accumuler les précautions que nous venons de décrire.

On se rendra compte de la difficulté du problème à résoudre, quand on saura que, sur la ligne de l'Ouest, entre Paris et Asnières, il peut circuler sur les quatre voies 238 trains par jour; sur celle du Nord, entre Paris et Saint-Denis, sur quatre voies, 213 trains; sur celle de l'Est, entre Paris et Noisy-le-Sec, sur deux voies, 146 trains; qu'à Londres, à la station de Cannon-Street, à certains moments de la journée, il entre 18 trains par heure et il en sort autant: soit 36 trains par heure circulant dans la gare, un train en moins de deux minutes.

C'est dans cette dernière station que le procédé de M. Vignères a trouvé une très-large et très-ingénieuse application, en même temps que très-économique.

Les lignes de London-Bridge et de Charing-Cross pénètrent dans la Cité en se réunissant sur le pont qui mène à la station de Cannon-Street. Quatre voies pour les trains et une voie pour les machines se dédoublent en entrant dans la gare et s'épanouissent en neuf lignes longeant huit quais à voyageurs et le dépôt des machines. Or, comme nous venons de le dire, les trains sont nombreux et, à certaines heures de la journée, se succèdent à des intervalles extrêmement rapprochés ; il faut constamment changer de voies pour l'arrivée, car un train occupant un quai de débarquement, il faut diriger le suivant sur un autre quai de même destination ; ceux qui sont déchargés doivent être retirés des quais d'arrivée pour être conduits aux quais de départ ; enfin, les locomotives ont à circuler du dépôt vers les quais et réciproquement, pour se dégager, prendre les trains, les changer de position, partir, etc.

Tous ces mouvements demandent une mise en communication incessante et incessamment variable de toutes les voies entre elles. Aussi trouvons-nous là, depuis la bifurcation jusqu'aux quais, trente-huit branchements et trente-cinq signaux. Que l'on juge du nombreux personnel qu'il faudrait employer pour les cent et quelques manœuvres d'engins à exécuter par heure et de la confusion qui pourrait en résulter, si l'on avait conservé l'organisation généralement appliquée dans des conditions analogues.

Voici comment d'habiles constructeurs, MM Saxby et Farmer, sous la direction de MM. Hawkshaw, ingénieur en chef, et Wolfe Barry, ingénieur, ont résolu le problème.

Toutes les aiguilles de branchements, tous les leviers de manœuvre des signaux, disques ou sémaphores, aboutissent, au moyen de tringles articulées, à une plate-forme centrale dominant l'ensemble de la station et de ses abords ; de cette plate-forme, élevée à 5 mètres environ au-dessus des cinq voies qui s'engagent sur le pont, deux agents font manœuvrer dans l'ordre voulu chaque aiguille et chaque signal qui la protége, toutes ces maœuvres étant d'ailleurs solidaires pour prévenir les collisions.

La plate-forme porte une cabine vitrée qui a 18 mètres environ de longueur sur 2 mètres de largeur, dominée par quatre mâts

élevés qui portent chacun les six bras mobiles de sémaphores interdisant aux mécaniciens l'approche ou le départ de la station ; à l'intérieur, sur un des longs côtés de la cabine, sont rangés trente-deux leviers de manœuvre des aiguilles et trente-cinq leviers de manœuvre des signaux. Chaque levier porte un numéro d'ordre, plusieurs numéros de correspondance, l'indication de son usage et une couleur distincte selon son emploi : noirs pour les aiguilles, rouges pour les sigaux de départ, bleus pour ceux d'arrivée, jaunes pour les signaux à distance. L'autre côté de la cabine sert de passage aux deux hommes chargés de manœuvrer les leviers d'après les besoins des trains ou des locomotives en mouvement. Ces leviers portent sous le plancher de la plate-forme des prolongements qui font mouvoir des barres munies d'échancrures ou de saillies dont la position permet ou empêche la manœuvre d'un certain nombre de leurs correspondants, disposition qui, comme l'enclanchement Vignères, procure toute sécurité aux trains si les machinistes obéissent aux signaux.

Les ordres de manœuvre sont donnés à chaque extrémité de la cabine par un agent assis devant un appareil télégraphique qui annonce, à l'un l'arrivée des trains et transmet à l'autre un ordre de la gare. C'est donc avec deux employés et deux manœuvres que s'opère la direction du mouvement des trains dans la station et à ses abords. Il n'est pas besoin de faire ressortir plus longuement tout l'intérêt que présente cette ingénieuse disposition.

L'espace trop restreint dont nous disposons ne nous permet pas d'entrer dans les détails d'installation ; espérons toutefois que les quelques lignes qui précèdent suffiront pour appeler sur cette importante question l'attention des hommes de l'art, et qu'à l'imitation de la compagnie de Lyon, qui en projette l'exécution à titre d'essai sur l'un de ses embranchements, les autres lignes en étudieront à leur tour une nouvelle application, apportant ainsi un soulagement considérable aux pénibles fonctions d'aiguilleur et de nouvelles garanties de sécurité au public voyageur.

Ch. Goschler.

V

APPLICATION DE LA VAPEUR A LA LOCOMOTION SUR LES ROUTES ORDINAIRES

I

HISTORIQUE.

Premiers essais : Fardier à vapeur de l'Ingénieur Cugnot. — Machine américaine d'Olivier Evans, à Philadelphie. — Machine Trevithick et Vivian. — Opinion des ingénieurs sur l'adhérence. — Machine Blenkinsop. — Locomotive à béquilles de Brunton. — Blackett démontre expérimentalement que l'adhérence des roues sur les rails est suffisante. — Les données primitives du problème changent. — Comment on a été conduit aux voies ferrées actuelles.

La puissance de la vapeur était connue depuis longtemps. Cette force expansive avait déjà été utilisée avec succès dans un grand nombre de machines fixes; des essais nombreux avaient même été tentés pour appliquer la vapeur à la navigation. Fulton, d'abord joaillier, puis peintre en miniature et enfin mécanicien distingué avait conçu les remarquables projets dont la réalisation devait rencontrer plus tard tant d'obstacles. Et cependant, au commencement de ce siècle, aucune tentative n'avait encore été faite dans le but d'employer la vapeur pour le transport des voyageurs ou des marchandises sur les routes ordinaires.

S'il faut en croire pourtant nos voisins d'outre-Manche, le docteur Robinson de l'université de Glascow, en l'année 1759, aurait étudié le premier projet théorique d'un moteur dont les roues étaient mises en mouvement par l'action de la vapeur ; mais il n'est question ici que d'un projet et nous sommes disposés, sans vouloir faire injure à la mémoire du docteur Robinson, à attacher une plus grande importance à l'invention de James Watt, mentionnée dans un brevet de 1784. Les dessins, restés dans les cartons de l'illustre ingénieur, indiquaient une machine à condensation, car Watt avait compris toute la difficulté qu'offrait le renouvellement de la provision d'eau. De là naît à la vérité une nouvelle difficulté, celle qui est inhérente à la masse trop volumineuse des condensateurs.

En l'année 1769 seulement fut proposé une solution pratique de la traction par la vapeur. Le mérite de cette invention appartient à Joseph Cugnot, ingénieur français déjà connu, à cette époque, par plusieurs études intéressantes d'art militaire : il avait présenté récemment au maréchal de Saxe un nouveau modèle de fusil qui fut adopté pour les hulans. En examinant les difficultés de transport du matériel de l'artillerie qui était alors fort lourd, il fut amené à construire une voiture à vapeur pour le transport rapide de ce matériel. Ce chariot appelé *fardier à vapeur* fut essayé en 1769 en présence du duc de Choiseul et du général Gribeauval. Le fardier à vapeur se composait d'une chaudière trop volumineuse, avec foyer à la partie inférieure, le tout constituant le générateur de vapeur. La vapeur s'introduisait alternativement dans deux cylindres verticaux en bronze, où après avoir agi à haute pression et à simple effet, elle était lancée dans l'atmosphère. Ce triquebale à vapeur reposait sur trois roues : deux grandes roues à l'arrière, et une roue d'un diamètre plus petit voisine de la chaudière. Le mouvement alternatif des tiges des deux pistons se transmettait à l'aide d'une bielle à la petite roue, laquelle prenait alors un mouvement de rotation qui entraînait tout le système. La voiture pouvait facilement tourner : elle était divisée pour cela en deux trains articulés, l'avant-train comprenant la chaudière, le mécanisme et la petite roue motrice, et l'arrière train, destiné à porter les pièces d'artillerie, et supporté lui-même par les deux grandes roues.

Ce premier essai n'ayant pas été satisfaisant, Cugnot fut autorisé à modifier son appareil. Sa seconde machine fut expérimentée en 1771. Les dimensions étaient plus grandes que celles de la voiture précédente, mais soit que les moyens mécaniques dont on pouvait disposer à cette époque n'aient pas été suffisants, soit qu'il y ait eu quelque vice dans la conception du projet, la nouvelle machine, qu'on ne put maîtriser, vint briser un des murs de l'arsenal de Paris où on l'expérimentait.

M. le général Morin a retrouvé un curieux rapport de ces expériences :

« En 1769, un officier suisse, nommé Planta, proposa au « ministre Choiseul plusieurs inventions, lesquelles, en cas de « réussite, promettaient beaucoup d'utilité.

« Parmi ces inventions, il s'agissait d'une voiture mue par « l'effet de la vapeur d'eau produite par le feu.

« Le général Gribeauval ayant été appelé pour examiner le « prospectus de cette invention, et ayant reconnu qu'un nommé « Cugnot, ancien ingénieur chez l'étranger et auteur de l'ouvrage « intitulé *Fortifications de Campagne*, s'occupait alors d'exécuter « à Paris une invention semblable, détermina l'officier suisse « Planta à en faire lui-même l'examen.

« Cet officier l'ayant trouvée de tous points semblable à la « sienne, le ministre Choiseul chargea l'ingénieur Cugnot d'exé- « cuter, aux frais de l'État, celle par lui commencée en petit.

« Mise en expérience, en présence du ministre, du général « Gribeauval et en celle de beaucoup d'autres spectateurs, et char- « gée de quatre personnes, elle marcha horizontalement, et j'ai « vérifié qu'elle aurait parcouru environ 1,800 à 3,000 toises « par heure si elle n'avait pas éprouvé d'interruption.

« Mais la capacité de la chaudière n'ayant pas été assez jus- « tement proportionnée avec assez de précision à celles des « pompes, elle ne pouvait marcher de suite que pendant la durée « de douze à quinze minutes seulement, et il fallait la laisser re- « poser la même durée de temps afin que la vapeur de l'eau reprît « sa première force; le feu étant d'ailleurs mal fait, laissait échap- « per la chaleur; la chaudière paraissait aussi trop faible pour « soutenir dans tous les cas l'effort de la vapeur.

« Cette épreuve ayant fait juger que la machine exécutée en « grand pourrait réussir, l'ingénieur Cugnot eut ordre d'en faire « construire une nouvelle, qui fut proportionnée de manière à ce « que, chargée d'un poids de 8 à 10 milliers, son mouvement put « être continu pour cheminer à raison d'environ 1,800 toises « par heure.

« Elle a été construite vers la fin de 1770, et payée à peu près « 20,000 livres.

« On attendait les ordres du ministre Choiseul pour en faire « l'essai et pour continuer ou abandonner toutes recherches sur « cette nouvelle invention; mais ce ministre ayant été exilé peu « après, la voiture est restée là, et se trouve aujourd'hui dans un « couvert de l'arsenal. »

(Rapport adressé au ministre de la guerre le 24 janvier 1801, par L. N. Rolland, commissaire général de l'artillerie.)

La machine de Cugnot est depuis 1801 exposée au Conservatoire des arts et métiers, on peut la voir aujourd'hui dans la *Chapelle* réservée aux machines motrices.

Les ingénieurs américains, hardis dans leurs entreprises quand ils ne sont pas téméraires, ont étudié aussi l'emploi des locomotives sur les routes; en 1786, Olivier Evans commençait une suite d'études sérieuses, et en 1804 il faisait fonctionner une de ses machines dans les rues de Philadelphie. Mais l'inventeur, ruiné alors, ne put, malgré les avantages incontestables de son moteur, malgré les tentatives faites plus tard en Angleterre, monter une société pour exploiter ce nouveau système de messageries, à traction produite par la vapeur.

L'Angleterre sut mettre à profit les indications qui avaient été introduites par Evans. Deux mécaniciens, du comté de Cornouailles, Trevithick et Vivian, en tirèrent parti pour organiser des transports par diligences mues par la vapeur. La disposition de ces voitures est fort curieuse. Une enveloppe cylindrique horizontale contient le foyer à la partie inférieure, et au centre se trouve le cylindre avec le piston moteur. La tige du piston imprime un mouvement de rotation à une roue dentée dont l'arbre est muni d'un volant. Les dents engrènent avec une seconde roue qui détermine la rotation des grandes roues de la voiture. Une petite roue placée à l'avant, maniée par un conducteur, permet de s'orienter dans la marche.

Mais le frottement considérable produit par un tel véhicule sur le sol absorbait une trop grande partie du travail moteur, et le travail utile réel était une fraction trop faible de ce travail total ; aussi ces inventeurs, pour diminuer la grande perte de travail due au frottement, pensèrent-ils bientôt à établir leur voiture sur des rails dans lesquels les jantes des roues s'engageaient. Ces rails, différents des rails de nos chemins de fer, étaient des rainures en métal ou en bois, analogues aux guides des chemins dits chemins américains, et utilisées depuis longtemps dans les mines pour faciliter le transport de la houille.

L'expérience de ce nouveau mode de transport fut faite sur le chemin de Merthyr-Tydeville, dans le pays de Galles, en 1804. Les résultats obtenus furent très-peu satisfaisants. La machine en effet ne put remorquer que 10 tonnes avec une vitesse moyenne seulement égale à 8 kilomètres à l'heure et de plus après un tra-

jet de 14^{km}500, c'est-à-dire après une heure trois quarts de marche environ, il fallut arrêter pour renouveler la provision d'eau de la chaudière.

A la suite de ces expériences et des essais antérieurs, les ingénieurs, entraînés par l'insuccès de toutes ces tentatives, furent conduits à admettre que la véritable solution de la traction par la vapeur sur les routes était dans le choix de rails qui, servant de guides aux roues, en diminueraient le frottement. Le point de départ de ce principe était exact. Il est évident que le frottement des roues sur les chaussées est très-grand. Mais en améliorant la construction et l'entretien de nos routes et surtout en perfectionnant les machines, on aurait pu prévoir que les machines à vapeur pourraient un jour fonctionner sur ces voies sans l'intermédiaire de madriers, de rails, etc.

Les inventeurs renoncèrent donc à la solution, sinon la plus simple, du moins la plus directe et la plus économique. En l'année 1811, Blenkinsop fit fonctionner les premières locomotives qui aient réellement fait un service régulier. Ces machines étaient installées sur le chemin de fer de Middleton à Leeds, et comme on ne supposait pas que l'adhérence des roues sur une surface lisse pût être suffisante pour produire le mouvement, ces roues étaient dentées et s'engrenaient avec des rails à crémaillères. Il est facile de se rendre compte que l'établissement et l'entretien d'une semblable voie, devaient être excessivement coûteux.

En résumé donc, à l'époque à laquelle cet historique nous conduit, le mode de production de la vapeur était parfaitement connu. Il restait sans doute de grandes améliorations à apporter dans la construction des chaudières, améliorations sans lesquelles même le problème qui nous occupe ne pouvait être résolu. La disposition relativement récente des chaudières tubulaires nous en fournit la preuve. Mais, nous le répétons, le principe de la force expansive de la vapeur et les moyens de l'utiliser étaient découverts. On savait en outre, par des transmissions convenables, transformer le mouvement rectiligne alternatif de la tige du piston en un mouvement de rotation communiqué aux roues : par suite les roues tournaient. Mais comme on admettait d'une part que le frottement des roues sur les chaussées était trop grand, et que, d'autre part, l'adhérence était insuffisante, on crut que le mouve-

ment de rotation ne se transformerait à son tour que difficilement en un mouvement de translation en avant, le seul vraiment utile pour atteindre le but qui nous préoccupe. Telle était alors l'opinion générale qui fit entrer dans une voie nouvelle, non pas précisément fausse puisqu'elle a conduit à la découverte de nos chemins de fer, mais dont le résultat immédiat a été l'abandon de l'application de la vapeur à la traction sur les routes ordinaires. Il a fallu, en un mot, créer des routes spéciales, suivies seulement par les trains, et dont les prix d'installation atteignent des chiffres tellement exorbitants que, joints à la mauvaise administration de toutes les compagnies, les bénéfices, malgré l'importance du trafic, sont pour ainsi dire insignifiants.

L'exemple de la voie imaginée par Blenkinsop est une preuve de ce que peut produire l'esprit humain quand il est lancé dans une fausse direction. Et ce qu'il y a de plus surprenant encore, c'est qu'un tel système ait été employé pendant une période de plus de dix années. Signalons dans le même ordre d'idées la machine de Brunton construite en 1813, et appelée locomotive à béquilles. Triste épithète ! Deux béquilles ou tiges articulées mises en mouvement par le piston du cylindre à vapeur, prenaient, à certain moment, appui sur le sol, y exerçaient une pression très-forte et en se soulevant déterminaient le mouvement d'avancement du moteur à béquilles. Le nom seul aurait dû mettre en garde contre un tel engin.

Enfin, en 1813, après toutes ces épreuves infructueuses, après tant de projets insensés, et malgré l'opinion générale sur l'adhérence, Blackett, ingénieur anglais, fit faire un grand progrès à la machine à vapeur sur voies ferrées. Il proposa de faire une étude spéciale de l'adhérence, et il démontra victorieusement qu'elle était suffisante pour permettre le mouvement des roues sur des rails en fer posés horizontalement ou n'ayant qu'une faible pente. A dater de cette époque les chemins de fer étaient découverts : le principe au moins en était nettement formulé. Mais avant d'amener ces voies au degré de perfection, que nous leur connaissons aujourd'hui, il a fallu à la vérité bien des travaux encore, dans lesquels les Marc Seguin, les Stephenson, etc., se sont immortalisés, laissant bien loin derrière eux l'idée mère, l'idée primitive de la traction par la vapeur sur les routes ordinaires.

II

Premiers essais des locomotives routières. — Chemin de fer du baron Séguier. — Application dans les Alpes par un ingénieur anglais. — Machine de M. Bray, de Londres. — Prix de revient des différents modes de transport. — Quelques considérations générales sur ces machines spéciales. — Machines de MM. Aveling et Porter, de Rochester. — Pompes à incendie à vapeur américaines. — Pompe à incendie de M. Dickson. — Cheval de fer. — Arrêté ministériel du 20 avril 1866, concernant les locomotives routières de France. — Nouveau projet du baron Séguier. — Emploi simultané de la puissance de la vapeur et de la force du cheval. — Les locomotives routières à l'Exposition universelle de 1867. — Locomotive de M. Lotz. — Machine de M. Albaret. — Système mixte de M. Larmanjat. — Différentes applications des machines routières.

En France, pendant la période comprise entre 1840 et 1860, on s'est beaucoup trop occupé de la construction du réseau principal des chemins de fer, pour qu'on ait pu songer aux locomotives routières fonctionnant directement sur le sol, ou remorquant les wagons avec l'intermédiaire de rails d'un système plus simple et plus économique que celui de nos grandes voies ferrées. On pensait peut-être avoir obtenu la solution la plus complète du transport des voyageurs et des marchandises dans tout le pays. Mais les prix de revient très-considérables de la construction de ce réseau, ne rendent un tel mode de transport applicable qu'aux grands centres ; dès que la valeur du trafic n'atteint pas l'importance qui correspond aux grandes villes, il faut y renoncer. Il y a pourtant un très-grand nombre de localités éloignées de toute voie ferrée, intéressées à exporter promptement leurs produits dans les villes, à importer rapidement des matières premières ; ces échanges sont nécessaires pour assurer le succès de différents commerces, de diverses industries. Un mode de transport moins coûteux que celui des chemins de fer, plus accéléré que celui du roulage par chevaux est donc devenu de première nécessité, et la loi sur les chemins vicinaux doit être complétée par l'organisation de messageries routières desservant rapidement et régulièrement les usines éloignées des voies ferrées.

M. le baron Séguier est un des ingénieurs qui se sont le plus occupés des perfectionnements à apporter dans nos modes de locomotion. Il avait proposé, dès l'année 1843, un mode de traction sur les chemins de fer, différent du système adopté. Le compte

rendu de cette invention avait été lu à l'Académie des sciences le 18 décembre 1843, et on devait l'appliquer sur une ligne comprise entre Paris et Marly, franchissant toutes les pentes et tous les accidents de terrains. Pour atteindre ce but, les locomotives n'éprouvaient de changement que dans la disposition des grandes roues motrices. Ces deux roues, placées horizontalement, devaient agir par pression l'une contre l'autre, et elles devaient saisir entre elles un rail spécial, placé au milieu de la voie : les deux autres rails servaient de guide à l'avancement des roues des wagons. Ce troisième rail en fer, ou même en bois solidement fixé dans le sol, serré fortement par les deux roues motrices, déterminait, par la pression exercée contre les roues horizontales, le mouvement de la locomotive, sans aucune difficulté, aussi bien sur un terrain plat, que sur des pentes très-inclinées.

Le même principe, abandonné en France, a été repris par un ingénieur anglais, M. J.-B. Tell, qui a fait en 1864 des essais entre Cromfort et Hill-Peak, près Manchester, sur une locomotive destinée au passage des Alpes par Saint-Jean-de-Maurienne, Saint-Michel, Modane, Lans-le-Bourg et Suse, et capable de franchir les pentes les plus roides et les accidents de terrain les plus variés. — Ces machines pourront plus tard venir en aide au réseau principal, en reliant deux stations comme Saint-Jean-de-Maurienne et Suse, où viennent aboutir des lignes de chemin de fer.

Non-seulement les locomobiles à traction sont appelées à rendre plus parfait le réseau des chemins de fer, mais encore elles pourront servir dans les villes à faciliter certains transports et certains travaux spéciaux. Nous citerons comme exemple les machines construites par M. Bray, de Londres ; ces machines locomotives remorquent sur les chemins macadamisés et empierrés et sur les routes pavées, des trucs ou des trains chargés de fardeaux trop lourds pour être mis en mouvement par des moteurs animés. Dans le courant de l'année 1862, une de ces machines a transporté, la nuit, dans les rues de Londres, une longrine en fer forgé de 74 pieds de longueur, 5 pieds 8 pouces de hauteur au centre, et du poids de 20 tonneaux environ. Cette longrine, sortie des ateliers de M. H. Grissell, était destinée à la construction du pont de London, Chatham and Dover Railway, où elle fut conduite. Il aurait fallu pour un tel transport plus de 25 chevaux, et encore n'aurait-on réussi qu'après avoir vaincu beaucoup de difficultés ;

tandis qu'avec la locomotive de M. Bray, ce travail s'est opéré dans d'excellentes conditions.

Pour bien démontrer l'importance du choix du mode de transport au point de vue économique, nous puisons dans un rapport lu à la Société des ingénieurs civils, les renseignements suivants :

Supposant qu'il s'agisse d'établir un service pour un parcours de 40 kilomètres, avec une déclivité moyenne de 0,02 et des rampes extrêmes de 6, l'importance du trafic étant, par jour, de 100 voyageurs, 6 tonnes de messageries, 60 tonnes de marchandises :

	CAPITAL D'ÉTABLISSEMENT.	PAR JOUR.
	Francs.	Francs.
Traction par chevaux sur route. . . .	660,000	1,296
— sur rails. . . .	1,156,000	1,061
Traction par machines sur rails. . . .	1,050,000	715
— sur route. . . .	535,000	566

Ces résultats, qui ne peuvent avoir la rigueur mathématique, donnent cependant des valeurs moyennes assez près de la vérité pour qu'on puisse conclure :

1° L'emploi d'une voie ferrée avec traction par chevaux donne sur la même traction exercée sur le sol de la route une économie annuelle de 85,775 francs;

2° L'emploi de machines sur voie ferrée donnerait sur la traction animale sur rails une économie annuelle de 126,290 francs;

3° L'emploi de machines sur le sol des routes donnerait sur l'emploi de machines sur rails une économie annuelle de 54,385 francs;

4° Les machines sur routes donneraient sur les chevaux, aussi sur les routes, une économie annuelle de 266,450 francs.

Le mode de traction le plus économique consiste donc dans l'emploi des machines remorquant directement les wagons sur les routes. Malgré la difficulté qu'on rencontrera pour obtenir une adhérence suffisante, il faudra autant que possible diminuer le poids de la machine, et chercher à retrouver l'adhérence nécessaire par des dispositions spéciales des différents organes de la locomobile. D'après M. le général Morin, chaque roue de voiture, pour ne pas dégrader la route sur laquelle elle fonctionne, ne doit pas supporter plus de 2,500 kilogrammes. La voiture à va-

peur étant à 4 roues, son poids devra atteindre, au maximum, 10 tonnes. Avec un tel poids on ne peut guère compter sur une surface de chauffe plus grande que 45 mètres, ce qui correspond à 2,250 kilogrammètres par seconde, c'est-à-dire à 30 chevaux-vapeur. Telle doit être la puissance maxima des locomotives routières.

Dans la construction de ces machines, il faudra en outre rendre les différents organes aussi indépendants qu'on le pourra des chocs auxquels seront forcément soumis ces moteurs. Leur conduite devra être simple, le changement de direction très-rapide; ces locomobiles devront pouvoir facilement tourner dans des courbes de 5 mètres de rayon, et ne pas prendre une vitesse supérieure à 15 kilomètres à l'heure.

Quoique ces considérations générales aient été posées depuis longtemps, M. Faure, ingénieur distingué, que la mort a subitement enlevé à ses importants travaux, déclarait, en 1862, qu'aucun essai pratique expérimental n'avait encore réussi ni en France, ni en Angleterre.

Peu de temps après, le 21 février 1863, une expérience curieuse réunissait à Rochester un grand nombre de savants et d'ingénieurs éminents. Une locomotive routière, construite par MM. Aveling et Porter, commandée par la compagnie des mines de cuivre de Yudana-Mutana (Australie), transportait quatre wagons, pesant environ chacun 5 tonnes, sur des pentes de $0^m,083$ et de $0^m,125$, avec les vitesses moyennes correspondantes de $2^m,22$ et $1^m,33$; elle a ainsi parcouru 11 kilomètres en deux heures et demie, en brûlant environ 150 kilogrammes de charbon. Cette machine était la première remorquant d'aussi fortes charges sur des pentes aussi rapides.

La locomobile de MM. Aveling et Porter est une machine locomobile à chaudière tubulaire. La chambre de vapeur n'est pas au-dessus de la chaudière, mais elle est formée par une enveloppe qui entoure le cylindre, et où la vapeur s'introduit directement à sa sortie de la chaudière au moyen d'une série de trous percés dans la plaque sur laquelle est boulonné le cylindre. La vapeur pénètre ensuite dans le cylindre qui renferme le piston moteur. Le mouvement de ce piston communiqué à un pignon se transmet aux deux roues motrices couplées, à l'aide d'un second pignon, d'une chaîne à la Vaucanson et d'une roue à cames fixée sur l'es-

sieu. Deux roues plus petites sont disposées en avant, sous la cheminée, pour bien répartir le poids total, et une petite roue, d'un plus petit diamètre encore, placée à l'avant, sert de gouvernail. Le conducteur, assis devant la machine, manœuvre très-facilement à la main la roue-gouvernail. Les roues motrices qui ont $1^m,90$ de diamètre, peuvent être désaccouplées en enlevant un boulon qui les unit à l'arbre, et, ainsi disposée, la locomotive s'engage sans danger dans les courbes d'un très-petit rayon. Un système d'embrayage et de débrayage du pignon principal permet de changer à volonté la direction du mouvement. Au moyen d'un frein très-énergique on peut descendre des pentes rapides. Vide, cette machine pèse 8 tonnes, et quand elle est remplie d'eau et de combustible, le poids s'élève à 10 tonnes. En comparant enfin les résultats obtenus à la dépense du combustible, on doit considérer ce mode de traction comme très-économique.

En Amérique, on a fait depuis plusieurs années déjà une application remarquable de ces moteurs aux pompes à incendie. Parmi ces appareils, nous devons citer les pompes à incendie à vapeur de Lee et Larned, de Cincinnati; une de ces machines, le John Storm, est utilisée comme pompe à incendie de la ville. Quoique plusieurs pompes semblables aient été construites, le John Storm a seul survécu, les autres ayant été mises hors de service par suite du mauvais état de leurs organes. — M. Richard Dudgeon, de New-York, a construit une pompe à vapeur qui a été détruite lors de l'incendie de Cristal-Palace. — M. Roper, de Boston, n'a pas craint d'établir, dans le même but, une voiture à vapeur du poids de 2,000 kilogrammes.

Une des locomotives américaines les plus intéressantes est celle de M. Perry Dickson, d'Erie. Cette locomobile franchit toutes les pentes, toutes les aspérités de terrain, aussi bien à la montée qu'à la descente. Le mécanisme est combiné de manière à ne produire que la quantité de travail mécanique nécessaire suivant les besoins; les variations de force peuvent être obtenues à chaque instant du parcours, pendant que la machine est en marche. Un seul cylindre suffit pour faire fonctionner les roues motrices, ce qui permet non-seulement de réduire le poids de l'appareil, mais encore d'arrêter la machine à un instant quelconque sans avoir à craindre les points morts. La transmission du mouvement de la tige du piston aux roues motrices est aussi simple qu'ingénieuse. La voiture peut al-

ler soit à l'avant, soit à l'arrière : pour cela il suffit d'agir sur un levier que l'on peut facilement manœuvrer sur la voiture. La force nominale de cette machine est de 8 chevaux et elle pèse 2,400 kilogrammes.

En outre, la locomobile de M. Dickson peut très-bien être utilisée comme machine fixe. Cette condition, pour toutes les locomotives routières, mérite d'être prise en sérieuse considération. Si, entre deux localités, le service n'est pas assez actif, la machine, au lieu d'être remisée, pourra être louée aux industriels ou aux agriculteurs, qui trouveront ainsi une puissante force mécanique dont ils ont si souvent besoin, quoique pourtant ils ne puissent constamment l'employer chez eux. A l'époque de la moisson, du battage, ces machines pourront rendre de grands services à l'agriculture, en même temps que les frais de transport pourront être diminués.

Tous les grands pays industriels ont promptement calculé l'importance d'améliorer et de généraliser les systèmes de locomotion. Nous avons pu prendre connaissance d'un brevet, daté de Bruxelles, pour un nouvel appareil de progression et de remorquage automoteur, dit Cheval de fer, par MM. Bernier et Godard Desmaret. La disposition de cette machine rappelle la locomotive à béquilles de Brunton. Les inventeurs du cheval de fer, s'éloignant du principe des appareils automoteurs connus, dans lesquels le mouvement est déterminé par des bielles, des chaînes ou autres organes agissant sur les roues, proposent d'obtenir la progression et le remorquage sur le sol, à l'aide de quatre jambes articulées qui se soulèvent et s'abaissent alternativement. Ces leviers, dont les pieds ont la forme d'un sabot légèrement bombé, rencontrent le sol sous un angle donné, et la réaction qui en résulte détermine le mouvement en avant de la machine. Les quatre roues ne sont plus utilisées que comme supports, en même temps qu'elles diminuent la résistance qu'éprouve le moteur à l'avancement.

La conduite de cette locomotive exige deux hommes, le mécanien et le conducteur. Ce dernier, en agissant sur un châssis porte-essieu, dirige le cheval de fer ; il peut arrêter ou changer à volonté la marche de l'appareil. On peut appliquer indifféremment comme force motrice la vapeur, l'air chaud, l'éther, l'ammoniaque, etc. Le principe de cet appareil paraît rationnel, en ce

sens que la puissance motrice agit directement sur les leviers moteurs, mais on peut craindre que les mécanismes n'entraînent une bien grande complication.

Le ministre des travaux publics, en France, a si bien compris la nécessité des recherches faites sur les locomotives à vapeur fonctionnant sur les routes ordinaires, que le 20 avril 1866, il a publié les conditions générales auxquelles ces nouvelles machines devront satisfaire. D'après l'article 8 de l'arrêté ministériel, elles devront être munies : 1° d'un appareil de changement de marche ; 2° d'un frein assez puissant pour empêcher le mouvement de l'essieu moteur sous l'action de la vapeur, au maximum de pression que comporte la chaudière ; 3° d'un avant-train mobile autour d'une cheville ouvrière ou de tout autre mécanisme équivalent, permettant de tourner avec facilité dans des courbes de petit rayon. En outre, la vitesse de ces machines ne dépassera pas 20 kilomètres à l'heure.

Tandis que M. Armand Béhic signait ce règlement, M. le baron Séguier faisait connaître à l'Académie des sciences les modifications qu'il avait apportées à ses premiers projets. Tout d'abord M. Séguier avait seulement cherché à franchir les pentes que les locomotives des chemins de fer ne pouvaient gravir ; mais, depuis cette époque, le mécanisme des locomotives ayant fait de grands progrès, ces machines remorquent les trains les plus lourds sur des pentes très-inclinées. Les locomotives routières ne doivent donc plus seulement venir en aide aux locomotives des voies ferrées pour vaincre tel ou tel obstacle ; un plus brillant avenir leur est réservé. Ces nouveaux appareils de traction feront forcément baisser les tarifs par la concurrence faite au monopole des grandes compagnies, et faciliteront le trafic dans les centres dépourvus de lignes de fer. M. le baron Séguier, en entrant dans cette voie, a proposé une locomotive très-ingénieuse, munie de coulisses Stephenson. Nous n'avons connaissance d'aucun essai tenté sur cet appareil, dont le mécanisme nous paraît, à première vue, quelque peu compliqué. M. le baron Séguier a cru devoir appeler l'attention de l'Académie sur la direction de la voiture à vapeur : « N'oublions pas que pour la direction d'une voiture ordinaire, l'intelligence des chevaux est un constant auxiliaire, que la docilité la plus complète d'un mécanisme ne pourra jamais remplacer. » Telles étaient les paroles qui terminaient

la communication de cet éminent ingénieur à l'Académie.

Un ingénieur de Milan, M. Stamen, a proposé, presque à la même époque, d'unir l'action du cheval à celle de la vapeur, non pas pour en augmenter la puissance, mais comme mesure de prudence. Si on attelle un cheval à un brancard, solidement fixé à l'avant de la machine, l'animal sera un instrument qui facilitera le départ, l'arrêt et la direction du moteur. Ce système qui, en apparence présente plus de garanties comme sécurité, ne nous paraît ni très-pratique, ni très-économique. Si la locomobile est difficile à conduire seule, ne le sera-t-elle pas au moins autant lorsqu'un cheval la tirera, et le conducteur pourra-t-il toujours être certain d'une harmonie suffisante dans l'action des deux moteurs? Cette disposition ne nous paraît pas exempte de danger, et nous pensons que les constructeurs sauront perfectionner suffisamment les organes des locomotives routières pour pouvoir se débarrasser d'un tel auxiliaire.

Les locomotives routières sont d'ailleurs susceptibles d'un assez long parcours. Il y a quelques mois à peine une petite locomotive, construite dans les ateliers de M. Bulton, a traversé, en un seul jour, Manchester et plusieurs centres de population jusqu'à Chester, c'est-à-dire plus de 144 kilomètres, en remorquant dix voyageurs. Nous avons lieu de croire que c'est là le plus long trajet parcouru jusqu'à ce jour par une de ces machines.

L'Exposition universelle de 1867 a prouvé les immenses progrès réalisés par les intelligents constructeurs de locomotives routières, et les types exposés par la France et l'Angleterre démontrent incontestablement que le problème de la traction à vapeur sur les routes ordinaires a reçu plusieurs solutions très-complètes et parfaitement pratiques.

Mentionnons tout d'abord la locomotive de M. Lotz, de Nantes. Deux hommes suffisent pour faire marcher ce véhicule : un conducteur, qui en agissant sur la roue-gouvernail placée à l'avant, dirige le mouvement général, et un mécanicien qui règle la vitesse de la marche, les arrêts et les départs. Le mouvement du piston est transmis aux roues motrices par une chaîne sans fin et des engrenages à vitesse variable. Au-dessus des roues motrices sont placés le foyer et la chaudière, qui par leur poids servent à augmenter l'adhérence des roues sur le sol. Une voiture à trois roues, de même que la locomotive, avec places à l'intérieur et impériale,

est facilement entraînée par le moteur, comme l'ont prouvé de nombreuses expériences. M. le baron Séguier a judicieusement reproché à cet appareil la transmission de mouvement à l'arrière-train, et fait remarquer que l'ingénieur Cugnot avait eu le soin d'actionner directement la roue de l'avant-train de son tricycle, chargé du poids de tout le mécanisme et de la chaudière pour augmenter l'adhérence. Le fardier de Cugnot pouvait facilement entrer dans un tournant d'un petit rayon, ce qui devient beaucoup plus difficile en actionnant les roues de derrière.

Mais avec cette locomotive la force de la machine dont on peut disposer est sensiblement constante. Or le transport sur les routes ordinaires entraîne forcément de très-grandes variations dans les efforts, et si on ne peut modifier ces actions en temps opportun, ou bien on dépensera plus que ce dont on aura besoin, ou bien la machine ne pourra plus avancer. M. Larmanjat a imaginé une disposition qui permet très-facilement et très-rapidement ces changements. Supposons que les deux roues motrices marchent, avec leur charge, à la vitesse de 16 kilomètres à l'heure, et qu'il soit possible de substituer très-rapidement aux deux roues principales deux petites roues solidaires placées auparavant dans l'intérieur des grandes roues. Si, par suite de cette substitution résulte une vitesse de la machine seulement égale à 4 kilomètres, la vitesse de tous les autres organes restant constante, la puissance de la machine étant primitivement représentée par 1, sera devenue maintenant égale à 4, puisque les efforts sont, dans ce cas, inversement proportionnels aux vitesses. Donc on utilisera la première puissance sur les routes ordinaires, en bon état et à peu près horizontales, et on aura recours à la seconde puissance dès que les obstacles se présenteront. La locomotive de M. Larmanjat est tellement combinée, que pour opérer ce changement de roues il faut moins d'une minute. Elle est menée par deux hommes, un conducteur et un mécanicien. C'est un véhicule à trois roues, une petite roue en avant qui sert de gouvernail, et deux roues motrices à l'arrière-train. Sous ce rapport, on peut adresser à cette locomotive le même reproche qu'à celle de M. Lotz.

La machine Larmanjat qui figurait à l'Exposition était seulement de la force de trois chevaux-vapeur, et néanmoins dans les nombreuses expériences auxquelles elle a été soumise, elle a donné les résultats les plus satisfaisants. Cette machine est partie de la

gare d'Auxerre remorquant un lourd camion à basses roues, portant une charge de plus de 3,000 kilogrammes, et ainsi chargée, au moyen de l'emploi de ses petites roues, elle a pu gravir une longue rampe de 8 centimètres par mètre, avec une vitesse moyenne de 8 kilomètres à l'heure. L'économie que présente l'emploi de cette locomotive sur la traction ordinaire par les chevaux s'élève à 70 pour 100, et elle peut avantageusement remplacer les moteurs animés dans la plupart des cas. La locomotive Larmanjat a fait plusieurs fois le trajet de l'Exposition à Boulogne, Saint-Cloud et Billancourt, en gravissant la forte rampe du Trocadéro. Dans une autre expérience, elle a longé les lacs du bois de Boulogne, au milieu des nombreux équipages, et sur le carrefour de la Muette, elle a décrit avec son wagon plusieurs évolutions rapides, de petit rayon, qui ont permis d'affirmer qu'on pouvait manœuvrer cette voiture à vapeur aussi commodément, et avec plus de sécurité encore que la plupart des attelages. Il n'y a plus à craindre, que la machine ne s'emporte!

Pourtant, à Lyon, il y a quelques jours à peine, un essai de la locomotive routière Dard et Cie a failli se terminer par un grave accident. Le train, mal dirigé, vint se briser contre le parapet d'un des ponts de la Saône, avec une force d'impulsion assez faible heureusement pour ne pas renverser cet obstacle. Soixante personnes environ composaient ce train !

Une locomotive du système Larmanjat fonctionne tous les jours au bois de Boulogne, partant de la porte Maillot, et se dirigeant vers Saint-James. Cette machine comporte deux cylindres avec changement de marche ; l'arbre de la manivelle commande directement, au moyen d'un pignon, l'essieu porte-roues. Deux autres roues d'un moindre diamètre, solidaires sur le même arbre, sont disposées sous la machine. Elles se manœuvrent très-promptement au moyen d'un levier mû par une vis et par un engrenage, et le mouvement leur est transmis par une chaîne-galle. Ces roues sont les chevaux de renfort que la machine transporte avec elle, pour s'en servir au besoin, soit dans les rampes, soit pour démarrer, ou dans les passages difficiles. Tout le mécanisme est renfermé et placé sous la chaudière, complétement à l'abri de la poussière et de la pluie. On construit des machines analogues depuis 3 chevaux jusqu'à 18 chevaux, du prix de 8,000 fr. jusqu'à 17,000 fr., suivant l'importance des voies de communication. Enfin, cette locomotive peut

être employée comme moteur, pour le battage des grains, les élévations d'eau ou tout autre service, sans qu'il soit nécessaire d'y faire le moindre changement.

Signalons encore la locomobile de MM. Albaret et Cie, à Liancourt, construite avec le soin que ces ingénieurs apportent dans l'établissement de toutes leurs machines.

Les machines routières sont donc appelées à rendre le transport des voyageurs et des marchandises plus général et plus économique, en luttant contre le monopole injuste des grandes compagnies de chemins de fer. Elles pourront être utilisées, lorsqu'elles ne fonctionneront pas, dans ce but, comme machines locomobiles motrices, et elles faciliteront ainsi certains travaux de l'agriculture et de l'industrie dans les campagnes. A Paris, on voit chaque jour fonctionner sur les grandes voies, des rouleaux compresseurs à vapeur qui écrasent le macadam ; ces engins, doués d'une petite vitesse, ont au contraire une très-grande puissance, et malgré plusieurs accidents causés par ces énormes machines, elles continuent de fonctionner, en opérant le travail très-rapidement et avec une grande économie. Nous avons dit aussi qu'en Amérique on utilisait ces appareils pour les pompes à incendie à vapeur, et tout récemment, à Londres, pendant l'incendie du grand Opéra, dix-huit pompes à vapeur ont lancé des quantités d'eau si considérables, qu'on affirmait qu'une seule de ces machines remplissait le rôle de dix pompes ordinaires. Nous ne pouvons que déplorer l'inertie de notre administration française, qui laisse encore nos grandes villes avec les petites pompes à incendie ordinaires.

Enfin ces locomotives remplaceront encore avec avantage les moteurs animés dans le halage des bateaux sur les canaux et les rivières. « Ces jours derniers, dit le *Mémorial artésien*, il est ar-
« rivé à la gare d'Arras, deux locomotives de halage, circulant
« sans rail, l'Oise et l'Aa ; cette dernière descendue de wagon,
« chauffa et partit bientôt aux applaudissements du public, pour
« commencer le service de halage le long de la rivière dont elle
« porte le nom. Le nouveau halage à vapeur est d'une traction
« puissante et expéditive. Il est appelé à rendre de grands ser-
« vices à l'industrie, au commerce, et surtout à la batellerie,
« par sa régularité, sa sécurité, sa vitesse. Il donnera une
« grande économie de temps, dont tout le monde profitera. »

P. Schwæblé.

VI

LES BATEAUX DE VIE

(LIFE-BOATS)

L'Exposition internationale de 1867 n'aura pas eu seulement pour résultat de nous montrer les merveilleux progrès de l'industrie et l'irrésistible tendance des sociétés les plus éclairées vers tout ce qui peut contribuer au développement du commun bien-être; malgré la place importante donnée au matériel de guerre, malheureusement encore nécessaire au milieu des crises politiques qui préparent la paix future de l'Europe, il est facile de constater, par l'examen des institutions et des inventions nombreuses qui ont pour objet le soulagement de la souffrance et les secours donnés à nos semblables, que les sentiments d'humanité ne cessent de s'accroître en même temps que l'intelligence s'élève et que se fortifient, par les conquêtes de l'industrie, les liens de la solidarité.

Nulle part, peut-être, ces liens précieux n'apparaissent avec plus d'évidence que dans l'organisation des sociétés de sauvetage des naufragés, dont nous nous proposons de retracer sommairement l'histoire dans le plus prochain *Annuaire*. Nous nous bornerons aujourd'hui à décrire les bateaux de vie (*life-boats*) envoyés à l'Exposition, et destinés aux navires en mer ou aux stations placées à terre pour secourir les marins en danger.

C'est à la France, ainsi que l'a prouvé M. de la Landelle dans une intéressante étude[1], que revient l'honneur d'avoir inventé les bateaux de sauvetage. Dès 1610, un gentilhomme du Poitou, le chevalier de Razilly, expérimentait un canot rendu insubmersible par des boîtes à air. Un siècle et demi plus tard, en 1775, de nouvelles expériences furent faites à Saint-Cloud par M. de Bernières, contrôleur général des ponts et chaussées, et, suivant les gazettes du temps, la nacelle insubmersible et inchavirable dont il était l'inventeur réussit à souhait. Cette seconde invention ne fut cependant pas plus utilisée que la première, et ce n'est que

[1] *Naufrages et sauvetages.*

dix ans après, en 1785, qu'un nommé Lionel Lukin, constructeur de voitures à Londres, lança à Bamburgh un véritable bateau de vie, qui, dès la première année de sa mise à la mer, sauva plusieurs personnes. Ce bateau était à double carène et pourvu de caisses à air sous le pont.

En 1789, le navire *l'Aventure*, ayant naufragé sur les côtes du Northumberland, fut mis en pièces par les vagues, qui enlevèrent tour à tour les hommes de l'équipage sous les yeux des habitants, impuissants à les secourir. Sous l'émotion de ce douloureux événement, un comité s'organisa et proposa des prix pour la construction d'un *bateau sauveur* destiné à résister aux plus grosses mers. M. Harry Greathead, de Shields, produisit alors un nouveau modèle qui fut adopté par le comité; 31 bateaux, construits sur ce type, rendirent bientôt les plus utiles services et sauvèrent la vie à un grand nombre de naufragés. Malgré leur grande stabilité, et quoique leur construction les rendît très-maniables dans les brisants, ces bateaux restaient exposés à chavirer et à s'emplir, accidents qui ont quelquefois causé la perte d'une partie de l'équipage. En 1849, le duc de Northumberland, frappé d'un sinistre qui avait coûté la vie à vingt hommes sur vingt-quatre composant l'armement d'un bateau sauveur, offrit une prime de cent livres sterling pour une forme de bateau se vidant ou se redressant de lui-même. Le modèle d'un constructeur de Yarmouth, James Beeching, l'emporta et devint le type des embarcations employées par la Société nationale et royale de sauvetage (*Royal National Life-Boat Institution*).

Cette société a exposé un modèle du bateau Greathead, intéressant à étudier comme origine des bateaux perfectionnés. Ces derniers bateaux sont représentés à l'Exposition par un canot de 11 mètres de long et par un petit modèle de canot de 10 mètres. La Société centrale de sauvetage française, reconnue comme établissement d'utilité publique par décret impérial du 17 novembre 1865, et qui a pris un si rapide développement sous l'active impulsion de l'amiral Rigault de Genouilly, a adopté ce dernier modèle pour ses stations et en a exposé un spécimen. Exécuté par M. Augustin Normand, constructeur au Havre, et par la Société des forges et chantiers de la Méditerranée, ce bateau, qui, depuis le type créé, en 1852, par M. Peake, a reçu en Angleterre de nombreux perfectionnements, mérite que nous en don-

nions une description détaillée, faisant connaître les merveilleuses qualités qui le rendent propre à remplir, dans les plus difficiles circonstances, sa périlleuse mission de sauvetage.

Le *life-boat* perfectionné est pointu aux deux extrémités. Des chambres à air très-hautes sont ménagées à l'arrière et à l'avant, et la quille, en chêne, d'un seul morceau, fortement reliée à l'étrave et à l'étambot, est doublée par une fausse quille en fer forgé. La coque, parfaitement consolidée dans toutes ses parties, est formée de deux couches en bois d'acajou, superposées et croisées. La courbure du pont, placé à 80 centimètres au-dessus du niveau de la mer, tend à ramener l'eau embarquée vers le centre, où des puits verticaux à soupape, traversant le canot de part en part, lui ménagent un rapide écoulement. On comprend la nécessité de cette disposition sur les barres et dans les brisants, où les lames qui déferlent à de courts intervalles remplissent le canot, que l'équipage est impuissant à vider.

Des caisses à air, adaptées aux formes de la coque, remplissent la cale, et sont disposées en abord sur le pont, au-dessous des bancs. Ces caisses sont destinées à rendre l'embarcation insubmersible. Des *life-lines*, cordes de vie ou de salut, sont suspendues en guirlandes autour du bateau ; elles servent d'étriers pour remonter à bord lorsque, après avoir chaviré, le canot se redresse de lui-même. Cette propriété de redressement spontané, jointe à celles de se vider seul et de surnager, donne au bateau de vie adopté par les deux sociétés centrales de France et d'Angleterre, une incontestable supériorité sur tous les autres modèles. On comprend, en effet, qu'il n'est guère possible de construire un canot complétement inchavirable, surtout lorsqu'il s'agit de lui faire affronter les plus grosses mers et traverser les brisants. Si en pareilles circonstances le canot chaviré ne peut se relever, les sauveteurs sont très-exposés, malgré les ceintures de liége qui les soutiennent, pour peu que le lieu du sinistre soit éloigné du rivage. Soit qu'ils s'attachent à la quille, soit qu'ils tentent de regagner la terre, il ne leur reste que peu d'espoir de salut, frappés comme ils le sont par d'énormes lames, repoussés par le ressac ou jetés sur les écueils. Ces risques sont évidemment très-amoindris lorsque le bateau de vie chaviré, portant sur les deux coffres en dos d'âne des extrémités et ayant son centre de gravité très-élevé au-dessus du plan de flottaison, se retourne vivement et reprend son assiette

normale. Nous citerons à ce sujet l'extrait suivant d'un intéressant rapport, publié il y a quelques années, et qui servit à convaincre les marins, peu confiants encore dans les qualités des nouveaux canots :

« Par une noire et orageuse nuit d'octobre, en 1858, le petit bateau de vie de Dungerness se dirigea, à travers une très-grosse mer, vers un vaisseau naufragé à 3 milles du rivage. Le bateau, monté par huit robustes gardes-côtes, appartenait à l'Institution nationale de sauvetage, et avait la propriété de se redresser et de se vider lui-même. On atteignit à plus de minuit le navire en détresse : il avait été abandonné par son équipage. On revint alors vers la terre. Il y a beaucoup plus de dangers à courir devant une forte brise qu'à ramer contre elle. Pendant un demi-mille, le bateau se comporta bien dans une mer lourde, hérissée de brisants; mais, en traversant un chenal, entre deux bas-fonds, il fut enveloppé et frappé par trois pesantes lames qui se succédèrent avec une telle rapidité qu'il ne put reprendre son équilibre ; il n'obéissait plus au gouvernail ; emporté par les vagues, couché sur le flanc, il tourna, et tout l'équipage fut lancé par-dessus bord. Aussitôt le bateau se redressa de lui-même, se vida de l'eau qu'il contenait, et l'ancre, étant tombée à la mer lors de la culbute, le ramena et le mit en panne. Pendant ce temps, les hommes, pourvus de ceintures de liége, surnageaient; ils purent regagner le bateau, y remonter au moyen des cordes de salut, et ayant coupé le câble, ils retournèrent à terre sains et saufs[1]. »

Les stations de sauvetage sont toutes établies sur le même type, qui a été reproduit très-exactement sur la berge de la Seine, à l'Exposition du Champ de Mars. Elles se composent d'une maisonnette-abri de 12 mètres de long sur 6 mètres de large, renfermant le canot monté sur un chariot, les divers engins de sauvetage et les boîtes de secours pour les noyés.

Le chariot comprend un corps et un avant-train. Le corps représente une sorte de berceau, solidement établi, qui maintient le canot, reposant par sa quille sur des rouleaux en fonte destinés à faciliter sa mise à l'eau. La Société centrale française a fait transformer, conformément au modèle adopté par elle, les premiers chariots achetés en Angleterre. Le canot, contenant tout son armement, ainsi que les cordes et poulies destinées au lan-

[1] *Magasin pittoresque*, XXXVe année, juillet 1867.

cement, repose sur son berceau, l'arrière du côté du timon et l'avant sur l'arrière-train. Le chariot, traîné par deux chevaux, est généralement retourné avant d'arriver au bord de l'eau. On retire les chevaux, et l'équipage, aidé par des hommes de bonne volonté, le pousse par les brancards, l'avant du canot toujours debout à la mer, jusqu'à ce que celui-ci puisse flotter. Lorsqu'il est bien présenté, les canotiers assis à leurs bancs et prêts à ramer, le patron veille l'embellie, et, au moment favorable, fait larguer la retenue, en même temps que les hommes rangés sur la corde de lancement remontent la plage le plus vite possible. Le canot glisse rapidement sur ses rouleaux, et l'équipage donnant un vigoureux coup d'aviron, il prend de l'erre et gagne le large. Lorsque le canot revient, il doit être aussitôt que possible halé sur la plage avant que la mer puisse le jeter en travers à la côte. Au moyen de palans bien disposés, un petit nombre d'hommes peuvent ensuite remettre le canot sur son chariot.

Deux constructeurs du Havre, MM. Lahure et Moué, ont exposé des bateaux de sauvetage possédant, comme les précédents, les trois qualités essentielles d'insubmersibilité, d'évacuation et de redressement spontané. Le canot de M. Lahure, entièrement en tôle d'acier, est remarquable par son aspect de légèreté. La cale, divisée en compartiments à air par des cloisons verticales, et les deux tambours, avant et arrière, assurent l'insubmersibilité. Sur le pont se trouvent aussi des caisses à air très-larges, dont la partie supérieure inclinée vient effleurer des dalots disposés de chaque bord et par lesquels l'évacuation de l'eau s'effectue. Le redressement est obtenu par des dispositions semblables à celles des canots de la Société centrale. Dans le bateau de M. Moué, un seul des côtés de l'embarcation est muni d'une caisse à air s'étendant entre les deux tambours. Cette disposition nouvelle rend la force de redressement plus énergique et permet de supprimer les tambours élevés en usage dans les canots du type anglais.

La Société allemande de sauvetage a exposé trois espèces de bateaux à redressement spontané, dont l'un, celui de M. Konitsky, encore à l'état de projet. Le plus grand des deux autres, construits par M. Devrient, de Dantzig, est aussi représenté seulement par un modèle et n'a pas encore été exécuté. Ce bateau, pourvu d'une cabane, serait destiné à secourir les navires naufragés sur les îles et les bancs qui bordent, souvent à une grande distance, les côtes

de la mer du Nord. Le troisième bateau, dont les formes et les dispositions sont analogues à celles des canots anglais, a été récemment expérimenté à Brême, et a donné des résultats satisfaisants. Il est employé déjà à la station d'Hela, à l'entrée du golfe de Dantzig.

Outre les bateaux à redressement spontané, la Société des life-boats a exposé le modèle d'un grand bateau destiné à être employé, comme celui de M. Devrient, pour les naufrages qui se produisent loin de la côte. Ces bateaux, excellents voiliers et d'une grande stabilité, ne sont pas inchavirables; mais, confiés à d'habiles patrons, on peut les regarder comme très-sûrs, même dans les plus grosses mers, et propres à rendre de bons services quand l'éloignement ne permet pas d'employer les canots ordinaires à redressement, construits surtout pour la marche à l'aviron. Cinq des stations de la côte d'Angleterre sont pourvues de ces grands bateaux.

Un bateau-radeau de sauvetage, composé de deux cylindres en tôle de 40 pieds de long sur 2 pieds et demi de diamètre, solidement fixés l'un à l'autre, a été exposé par M. Richardson. Les cylindres creux, divisés en compartiments étanches, laissent entre eux un intervalle de 3 pieds, et se rejoignent à leurs extrémités pour former l'avant et l'arrière. Ils supportent une plate-forme à claire-voie entourée d'un plat-bord, et sur laquelle sont établis les bancs pour les rameurs. La voilure est à peu près la même que celle des canots à redressement, avec lesquels le bateau-radeau a pu lutter de vitesse. La Société anglaise possède deux de ces bateaux, dont le premier modèle se retrouve chez les naturels de l'Océanie, qui se servent de pirogues au lieu de tubes, et qui entreprennent de longues traversées sur ces embarcations.

Dans l'exposition de M. John White, constructeur à Cowes, on remarquait, au milieu d'un grand nombre de modèles d'embarcations insubmersibles, un type entièrement nouveau de canots à vapeur dont l'insubmersibilité est assurée par des caissons à air disposés en abord de l'avant à l'arrière. Ces embarcations, qui peuvent lutter avec plus d'avantages que les canots à rames contre le vent et la mer, sont d'une grande utilité pour remorquer ces canots auprès des navires naufragés, et il est très-désirable que les ports français offrent bientôt sous ce rapport les mêmes ressources que ceux de l'Angleterre.

Il nous reste à mentionner deux canots de sauvetage pour les navires, qui faisaient partie de l'exposition de l'Amirauté anglaise. Jusqu'ici ces canots, fort insuffisants, avaient la seule propriété de l'insubmersibilité. Les canots exposés, disposés de manière à pouvoir être employés au service du bord, se vident d'eux-mêmes, et reçoivent, pour les gros temps, deux caissons mobiles, fixés à l'avant et à l'arrière au moyen de brides en fer, et destinés à produire le redressement spontané.

Des modèles de radeaux de sauvetage ont été aussi exposés ; mais leur description nous entraînerait trop loin [1]. Il nous suffira de dire que presque toujours la construction de ces appareils repose sur l'utilisation des barriques employées à bord des navires, sur lesquelles on fixe les pièces de bois qui servent de base au radeau. Un capitaine américain, M. Perry, a remplacé les barriques par des sacs en caoutchouc recouverts de toile qui occupent un très-petit volume, et sont gonflés en quelques minutes lorsqu'on veut s'en servir.

Les détails que nous avons donnés auront permis d'apprécier les fructueux efforts faits depuis quelques années pour perfectionner les bateaux de vie, les rendre propres à traverser les brisants sans être submergés, ou tout au moins mis hors de service. Les rares qualités du *life-boat* actuel, dont on a très-bien dit qu'il effleure les vagues comme l'oiseau des tempêtes, attestent à la fois le génie de l'homme et le progrès des nobles sentiments qui préparent nos sociétés à la bienfaisante domination des forces morales, seul gage de paix durable et de commune prospérité.

Les hautes récompenses décernées aux Sociétés centrales de sauvetage, au Comité de l'œuvre internationale de secours aux blessés militaires, et à la Commission sanitaire des États-Unis, disent assez que les hommes éminents qui composaient le jury, choisis parmi les notabilités de tous les pays, ont voulu honorer par un éclatant témoignage les grandes institutions qui renferment dans leur sein les germes d'alliance et de concorde que les sociétés futures verront grandir, et qui, dès aujourd'hui, fondées sur le plus généreux dévouement, concourent surtout à faire de nos Expositions universelles « les temples de la civilisation. »

ÉLIE MARGOLLÉ.

[1] Voy. les *Annales du sauvetage maritime*, 9e et 10e livraisons, 1867.

VII

NOTICE BIOGRAPHIQUE

AUGUSTE PERDONNET[1]

Qui n'a eu l'occasion d'entendre, dans une de ces imposantes cérémonies populaires qu'il aimait tant à présider, ce grand vieillard dépassant tout le monde de sa tête de patriarche et dont la physionomie animée et souriante inspirait l'affection et la confiance? Je vois encore cette belle figure penchée en avant; son œil vif, abrité sous d'épais sourcils blancs ; sa lèvre accentuée, au coin de laquelle se tenait en réserve le trait qu'elle allait lancer dans l'explosion d'une aimable brusquerie. Son regard savait tout deviner, comme sa bouche savait tout dire. Que de fois, dans nos assemblées, il a jeté à la foule, avide de l'applaudir, de ces paroles que lui seul pouvait oser et qu'acclamait aussitôt un public accoutumé à sa verve originale, à son adroite bonhomie et à ses saillies risquées, qui n'étaient pas de l'imprudence.

Sa prestance, sa haute stature commandaient le respect. Il avait, au milieu de nous, l'air d'un vieux général. Sa voix, tantôt grave, tantôt éclatante, était toujours un appel au combat, et son geste, une promesse de victoire. Phénomène peu commun, un vieillard dans lequel on retrouve le jeune homme aux allures décidées, au caractère entier, aux passions fortes. Tout cela était resté si soutenu, si saillant dans cette noble vieillesse, que ceux qui l'ont

[1] Né à Vevey (Suisse) en 1801, mort à Cannes, le 4 octobre 1867, il fut admis, en 1821, à l'École polytechnique et se retira en 1822, pour se faire ingénieur civil. Il a dirigé le matériel du chemin de fer de Versailles et pris une grande part à la construction et à l'administration de celui de Strasbourg. Dans les dernières années de sa vie, il avait été appelé à la direction de l'Ecole centrale des arts et manufactures où il avait professé les cours de chemins de fer. Il était commandeur de la Légion d'honneur. Il a publié divers ouvrages sur la métallurgie et les chemins de fer : *Voyage métallurgique en Angleterre* avec MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, 1828, 2 vol. in-8; *le Portefeuille de l'Ingénieur des chemins de fer*, 1843, 1859, etc. Plusieurs volumes : *Traités élémentaires des chemins de fer*, 1855-56, 2 vol. in-8 ; 2e édit., 1858 ; 3e édit., 1866, 4 vol. in-8 ; *Notions générales sur les chemins de fer*, 1 vol. in-18, 1859.

connu suivent, sans étonnement, cette existence fougueuse et bienfaisante, depuis les rocs alpestres au pied desquels Perdonnet était né et d'où sa vie s'était élancée comme un autre torrent, jusqu'aux derniers épanchements de sa féconde activité.

Arrivé à Paris à l'heure des grandes découvertes, il avait eu foi dans les entreprises du génie moderne et croyait à la marche ascendante de l'humanité. Il avait vécu dans le monde des inventeurs qui, plus d'une fois, l'avaient pris pour confident, pour conseiller ou pour patron.

Quoiqu'il fût riche de son patrimoine et qu'il pût jouir d'une douce oisiveté, nous le trouvons, entreprenant et laborieux, dès le début de sa carrière. Il expérimente, il écrit, il voyage ; et ses essais, ses ouvrages, ses relations restent des types que l'on estime et que l'on consulte encore aujourd'hui.

Mais l'art de l'ingénieur ne pouvait suffire à sa bouillante imagination. Il avait assisté à une révolution ; il avait vu le peuple de près ; il se sentait appelé à dire son mot dans les graves questions d'économie sociale.

Le mal qui, dans les classes laborieuses, l'avait surtout frappé parce qu'il lui semblait la source de tous les autres maux, c'était l'ignorance. Il résolut d'attaquer ce fléau, de lui créer un ennemi implacable. C'est ainsi que Perdonnet, aidé de quelques-uns de ses camarades de l'une de nos premières écoles scientifiques, fut conduit à fonder l'*Association polytechnique*.

Avec les années, son front s'était creusé de rides ; mais son cœur avait à peine vieilli. C'était toujours l'homme habitué à ne mesurer l'obstacle que pour le franchir. Indépendant par caractère et par position, il s'était fait aimer du peuple, sans affecter de lui plaire et du pouvoir, en traitant presque d'égal à égal. En 1855 (il avait alors plus de 50 ans), dans un banquet qu'il offre aux personnages les plus marquants de la politique et de l'industrie, il se lève et, se tournant vers un ancien ouvrier, fils de ses œuvres, que la faveur, je veux dire la justice d'un gouvernement voisin n'a pas encore suffisamment récompensé : — Je bois, dit-il, avec un élan qui n'appartenait qu'à lui, je bois à la santé de Sir Stephenson, *baronnet !* — La reine, nous répétait-il bien souvent, n'a pas agréé le décret que je présentais à sa signature royale ; elle a eu tort : on fait plus facilement un baronnet qu'un Stephenson !

Vers les derniers temps de sa vie, Perdonnet, administrateur de l'une de nos principales lignes de chemins de fer, directeur de cette autre grande école qui a formé tant d'ingénieurs célèbres, possesseur d'une grande fortune, comblé d'honneurs, avait gardé toutes ses prédilections à l'une de ses premières œuvres, à l'enfant de la jeunesse, à l'*Association polytechnique*.

Cette belle fondation, élevée aujourd'hui, par la reconnaissance populaire, à la hauteur d'une institution nationale, avait traversé bien des épreuves critiques. Elle avait eu à combattre l'indifférence des uns, l'inertie des autres, l'inconstance de ceux-ci, le mauvais vouloir de ceux-là. La foi de Perdonnet, souvent attristée, demeurait inébranlable. Enfin, après plus de 30 années de luttes, il était parvenu à établir *sa chère Association* dans trois quartiers de Paris : à l'École centrale, à la rue Jean-Lantier et à l'École de médecine.

— C'est bien, mais c'est trop peu, me disait-il, avec un accent d'impatience ; ce n'est pas trois centres qu'il faut pour remplir notre destinée ; ce n'est pas un coin de Paris, c'est Paris tout entier. Il nous faudrait vingt foyers d'où la lumière jaillirait à profusion et se répandrait, dans tous les sens, sur le peuple de la grande ville...

Ce chaleureux ami de l'instruction populaire a pu voir, avant de mourir, ses vœux accomplis. Il a pu voir l'*Association polytechnique* pousser, comme un arbre robuste, de jeunes et fortes racines dans le sol et couvrir de son ombrage agrandi tous les points de la *Ruche parisienne*.

Le jour où l'on a conduit Perdonnet à sa dernière demeure, au milieu de ce cortége qui ressemblait à un deuil d'une grande famille et où se mêlaient fraternellement, dans un sentiment commun, l'habit brodé du dignitaire et la blouse de l'ouvrier, toutes les lèvres répétaient son éloge, tandis que ses amis et ses nombreux collaborateurs se promettaient d'être fidèles à sa mémoire en restant fidèles à son œuvre...

A cette heure où l'année 1867 expire, au moment où va commencer une carrière nouvelle, je devais à ce vétéran, à ce vaillant chef de notre armée du travail, à ce vieux compagnon dont j'ai connu la pensée et partagé les labeurs, de redire ce public et suprême adieu.

E. Menu de Saint-Mesmin.

VIII

BIBLIOGRAPHIE

TRAITÉ PRATIQUE DE L'ENTRETIEN ET DE L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER

PAR CH. GOSCHLER [1].

M. Goschler, ingénieur civil, publie à la librairie Noblet et Baudry, un *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer*, dédié à M. E. Flachat. Cet ouvrage est le recueil le plus complet qui ait paru jusqu'à ce jour sur cette grande question industrielle, et nous ne doutons pas que par la variété des sujets qui y sont présentés, par la netteté avec laquelle l'auteur les a développés, ce traité offre quelque intérêt aux gens du monde, bien qu'il ne soit pas écrit pour eux.

Les deux volumes que nous avons sous les yeux traitent, le premier du service, de la voie, et le second, de l'entretien de la voie. Les autres volumes qui doivent paraître prochainement seront réservés au matériel, à la traction, à l'exploitation et à l'administration.

Le service d'une voie ferrée comprend d'abord son établissement qui nécessite des terrassements, des déblais, des remblais, entraîne des ouvrages d'art pour lesquels tous les matériaux dont nous pouvons disposer sont utilisés, puis des clôtures, des barrières, et enfin des traverses et des rails, sur lesquels rouleront les trains remorqués par les puissantes locomotives.

M. Goschler a parcouru les différentes phases de l'établissement de la voie avec beaucoup de méthode, et il a rendu très-claires et très-simples les plus spéciales, celles qui sont familières aux ingénieurs, mais qui, généralement, sont ignorées des personnes étrangères à l'exploitation des chemins de fer. Un des chapitres les plus intéressants à ce point de vue est celui qui traite de la reconstruction du pont d'Asnières. L'ancien pont de bois construit

[1] 2 vol. Noblet et Baudry.

en 1836 avait dû subir d'importantes réparations, qu'on achevait en février 1848, à l'époque où éclata la révolution. Ce pont fut alors incendié et entièrement détruit. On se hâta de reconstruire un pont de service, qui, comme on le sait, devait pouvoir être remplacé par un pont métallique, sans interrompre néanmoins le passage des trains.

Les divers éléments de cette construction, décrits par M. Goschler avec une grande clarté, sont complétés par des planches qui accompagnent le texte, et qui permettent de comprendre plus promptement les intéressants détails de ce travail.

L'auteur examine ensuite avec soin les conditions que doivent remplir les différents matériaux employés dans la construction de la voie et des travaux d'art, c'est-à-dire la pierre, la chaux, les bétons, les moellons, les briques, bois, métaux, etc. La forme des rails, leur fabrication, leur épreuve, etc., constituent autant de questions importantes que M. Goschler a présentées très-complétement. Les traverses métalliques n'ont pas été tout d'abord traitées avec tout le développement qu'elles comportent. Ce n'est plus un problème à l'étude; plusieurs solutions ont été proposées, et les essais nombreux tentés par les grandes compagnies après bien des hésitations, suffiraient pour en démontrer presque la nécessité. Aussi M. Goschler est-il revenu sur ce sujet, dans un supplément où il a décrit le système qui appartient à la Société des forges de Franche-Comté, et qui a obtenu les succès les plus grands et les plus légitimes. Un détail estimatif fournit toutes les données des frais d'établissement des traverses en fer, grevées de toutes les dépenses de préparation, main-d'œuvre et frais généraux.

Le service de la voie comprend les changements de voie, les croisements, les plaques tournantes, etc. Toutes les principales dispositions en usage sur les lignes européennes sont décrites, avec des renseignements très-utiles, tels que dimensions, poids, prix de revient, etc. Parmi les accessoires à la voie figurent en première ligne les signaux de tous les genres, si indispensables pour la sécurité des voyageurs. Ensuite viennent les appareils de barage, de pesage, les indicateurs divers, etc.

Enfin, le deuxième volume se termine par des considérations relatives à l'art de l'architecture, et par l'organisation du service de la voie au point de vue administratif. Les stations sont classées

d'après leur importance; les dispositions générales de tous les bâtiments sont développées, ainsi que leur entretien. Tous les rouages du personnel administratif sont passés en revue dans les plus petits détails.

Le traité de M. Goschler est l'œuvre d'un homme versé dans la pratique de son art, d'un ingénieur distingué. Les fonctions de cet ingénieur, ancien élève de l'École centrale, successivement ingénieur aux chemins de fer d'Alsace, ingénieur principal aux chemins de fer de l'Est, directeur général du chemin de fer Hainaut et Flandres, lui ont procuré de nombreux sujets d'études et des observations sur le vaste ensemble de l'exploitation de nos chemins de fer. C'est le résultat de ces études, le résumé de ces observations que M. Goschler livre aujourd'hui aux ingénieurs spéciaux.

Cet ouvrage n'est pas encore terminé. Nous aurons occasion d'y revenir plus tard.

PHYSIQUE APPLIQUÉE

I

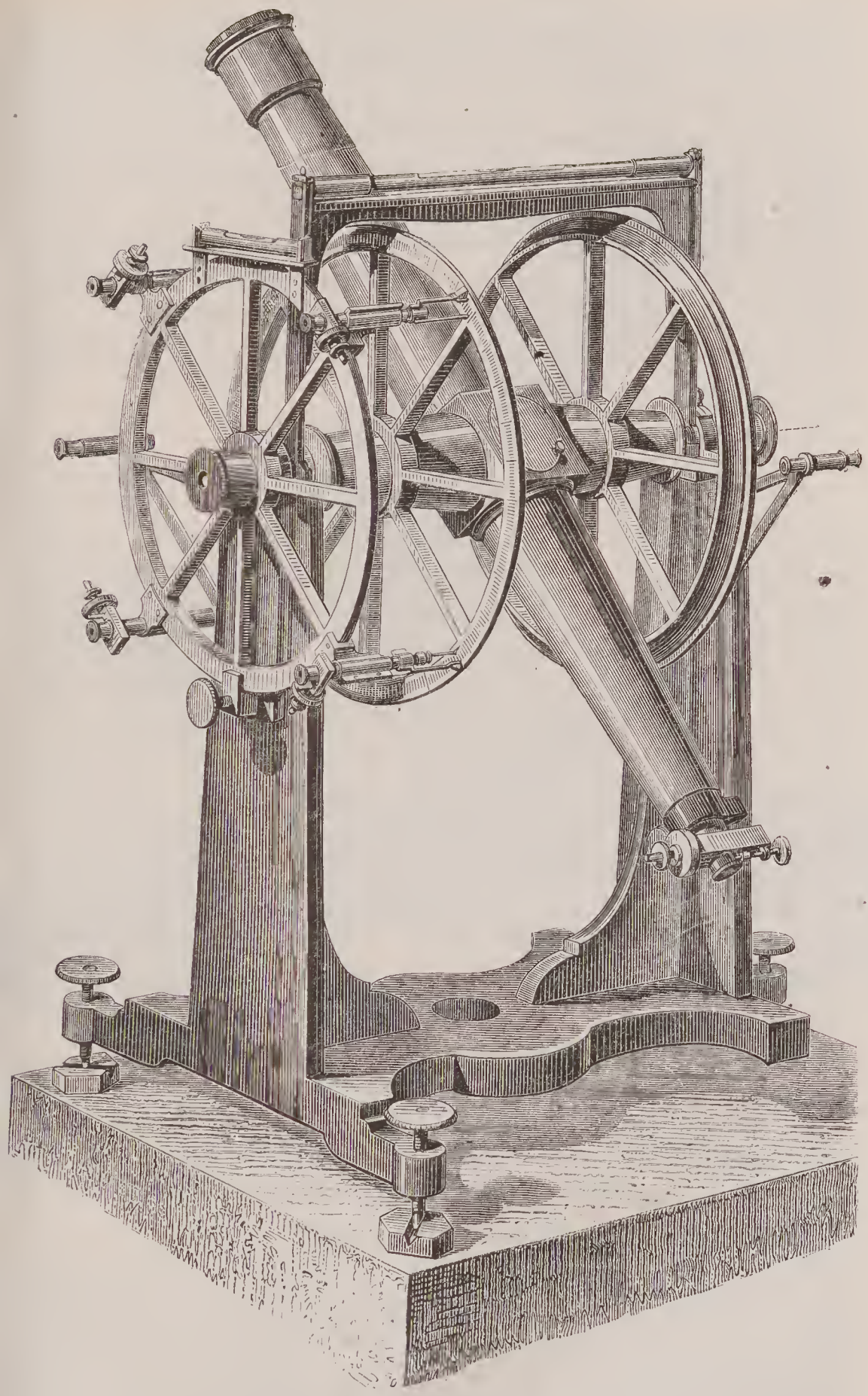
REVUE DES INSTRUMENTS D'ASTRONOMIE ET DE PHYSIQUE

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE.

Nous n'avons point à rédiger le rapport d'une des commissions chargées de distribuer les récompenses ; aussi, dégagés de la nécessité de porter un jugement sur l'exposition de chaque constructeur, nous nous bornerons à décrire en quelques mots les appareils d'astronomie et de physique nouveaux par leurs principes ou encore peu connus.

Les instruments d'astronomie, j'entends de grande astronomie comme celle que l'on fait dans les observatoires, étaient peu nombreux. Nous avons remarqué pour leur parfaite exécution une lunette méridienne portative et un équatorial par la maison Brunner ; la lunette a été commandée par le Bureau de longitudes et l'équatorial est destiné, à l'observatoire du Caire. M. Rigaud avait apporté un cercle méridien semblable à celui employé par M. Y. Villarceau, astronome de l'observatoire de Paris, pour la détermination des positions géographiques (longitude et latitude) des principaux points géodésiques de la France. Entre les mains de M. Villarceau, ces appareils, dont la lunette a seulement $0^m,79$ de foyer ont donné des résultats aussi précis que ceux obtenus avec les grands instruments.

M. Secrétan, constructeur ordinaire de l'Observatoire, exposait une autre lunette méridienne identique à celle qui a servi à M. Barbier pour la mesure de la longitude de Marennes point ouest extrême du parallèle moyen de France. L'obligeance bien



Cercle méridien portatif de M. Secrétan.

connue de M. Secrétan nous permet de donner ici, d'après un bois inédit de son catalogue, une représentation de cet appareil.

La lunette de $0^m,061$ d'ouverture libre et de $0^m,72$ de foyer est montée sur deux piliers en fonte faisant partie d'un socle en même métal. Trois vis et le niveau de la partie supérieure permettent de rendre l'axe de rotation parfaitement horizontal. Les deux cercles divisés fixés, sur l'axe de la lunette, et les quatre microscopes micrométriques que l'on voit vers la gauche, rendent l'instrument propre à servir de cercle mural et à donner les latitudes.

Les cercles de hauteur ont environ $0^m,26$ de diamètre et sont divisés de dix en dix minutes.

Le prix total de l'instrument est de 7,000 francs.

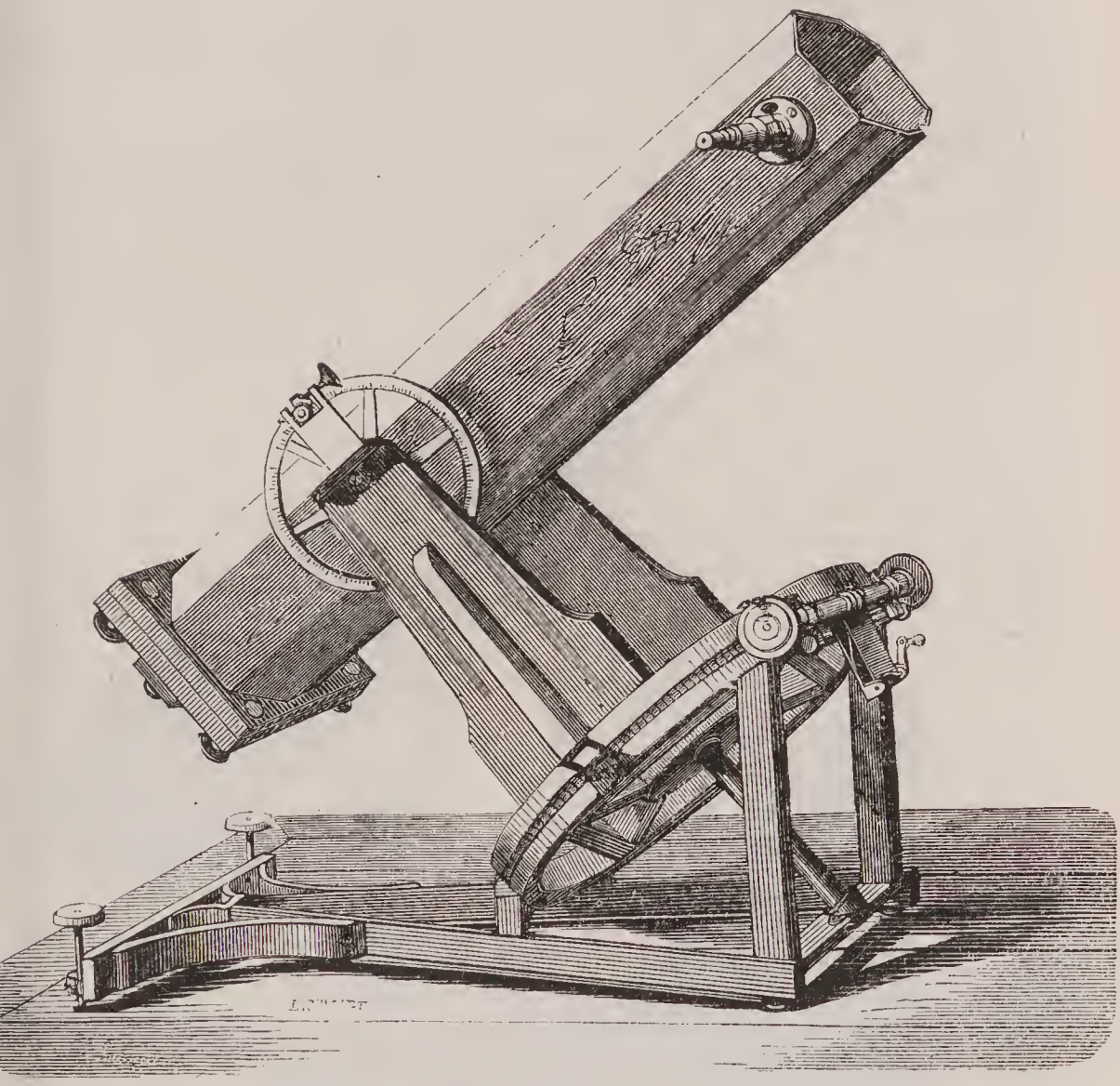
M. Secrétan, auquel un traité avec M. Léon Foucault réserve le monopole de la fabrication des miroirs en verre argenté retouchés suivant les méthodes décrites par ce savant physicien dans le tome V (1859) des *Annales de l'observatoire impérial de Paris*, avait exposé une série complète de télescopes. Le plus petit modèle celui de $0^m,10$ d'ouverture supporte des grossissements de cent et cent vingt fois, tellement sont parfaites les images focales du miroir. Nous donnons ici la figure d'un télescope de $0^m,16$ d'ouverture monté équatorialement sur un pied en bois et dont le prix est de 1,600 francs. Avec cet instrument, et des prismes à vision directe d'Amici, interposés entre le miroir et le prisme réflecteur, on voit facilement et sans oculaire spécial les raies des spectres des étoiles de deuxième et de troisième grandeur.

L'appareil est pourvu d'un cercle de déclinaison et d'un cercle d'ascension droite pour trouver les étoiles. Ses oculaires ont des grossissements de cinquante à trois cent fois.

M. Secrétan avait encore à l'Exposition un miroir argenté de $0^m,40$ de diamètre, et nous devons rappeler que c'est dans ses ateliers qu'a été construit de toutes pièces le télescope de $0^m,80$ de diamètre aujourd'hui à l'observatoire de Marseille.

Chez le même constructeur nous avons rencontré des théodolites et instruments géodésiques ou physiques de toutes sortes; mais nous négligeons systématiquement ces appareils usuels dont la parfaite exécution a valu d'ailleurs au fondateur de la maison la croix de la Légion d'honneur. C'était une récompense bien

méritée pour de longs et intelligents travaux dans ce genre d'industrie.



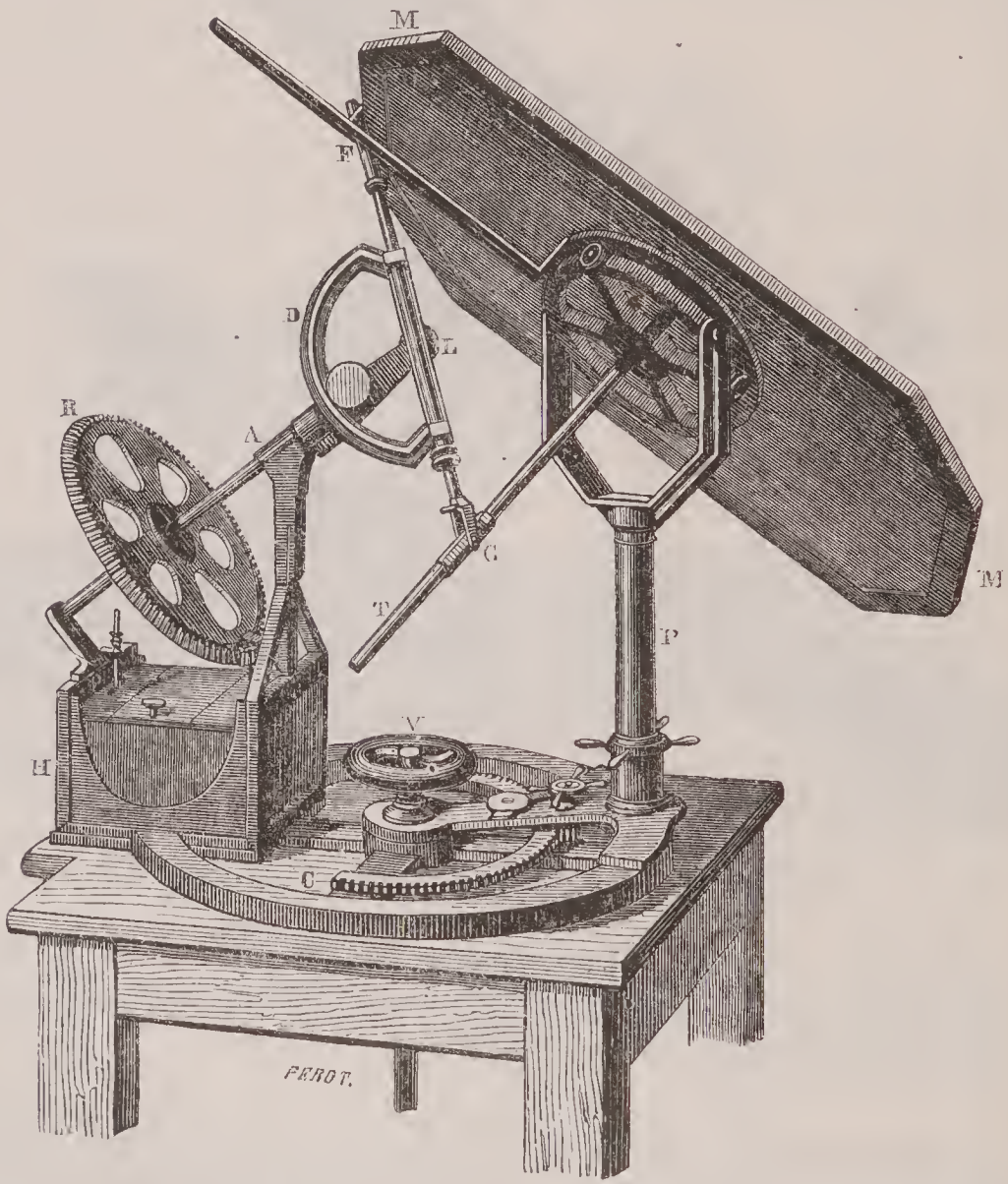
Télescope de M. L. Foucault, construit par M. Secrétan.

Dans les envois des constructeurs étrangers nous n'avons guère remarqué qu'une belle lunette de Merz (Munich) et un équatorial très-ingénieusement conçu par Beeck (Londres).

Le grandissement des épreuves photographiques exige l'emploi d'un faisceau de lumière d'une section considérable et conservant pendant un temps assez long une direction rigoureusement invariable. La manœuvre, à l'aide de la main, d'un grand miroir disposé comme ceux des porte-lumières ne permet d'atteindre que d'une manière très-insuffisante le but qu'on se propose. La seule

solution convenable est fournie par les héliostats : mais ces appareils, au moins dans la forme qui leur a été donnée par Gambey ou Silberman, ne peuvent porter que des miroirs à petite surface, et le rayon de lumière réfléchie a une section beaucoup trop faible.

L'héliostat de M. L. Foucault, tel qu'il est construit par M. J. Duboscq, se distingue par la grande étendue du miroir et la simplicité originale du mécanisme moteur.



Héliostat de M. L. Foucault, construit par M. J. Duboscq.

Le miroir MM est porté à l'extrémité d'un pied P et se trouve mobile autour de l'axe de la colonne P et d'un axe horizontal placé à la partie supérieure de la fourchette qui termine cette

pièce. Suivant les positions données à la tige normale T, le miroir peut donc prendre toutes les orientations possibles.

L'horloge motrice enfermée dans la boîte H fait tourner en vingt-quatre heures un axe AL incliné par construction de manière à se trouver parallèle à l'axe du monde. L'angle qu'il fait avec la verticale est donc égal à la latitude du point d'observation. L'axe AL porte une tige FG articulée en G avec la queue du miroir et pénétrant en F dans une coulisse parallèle à la grande dimension du miroir et invariablement fixée à ce dernier.

Supposons l'héliostat orienté de manière que AL soit parallèle à l'axe de rotation de la terre ; à l'aide du demi-cercle gradué D il sera facile de fixer la pièce FLGD mobile autour du point L dans une position telle que l'aiguille FG soit parallèle à la direction des rayons solaires. Si cette condition est remplie à un instant donné de la journée, elle le sera pendant toute la durée des vingt-quatre heures et la tige GF qui tourne autour de AL en vingt-quatre heures pointera vers le soleil aussi longtemps que cet astre sera au-dessus de l'horizon.

La longueur LG étant égale à la distance entre le point L et le centre du mouvement du miroir MM, les rayons solaires qui tombent sur la glace réfléchissante se trouvent renvoyés horizontalement dans une direction qui dépend de la position de la colonne P, et qu'il est facile de changer en agissant sur la crémaillère C du pied de l'instrument.

L'héliostat de M. L. Foucault se rapproche, comme on le voit, beaucoup de l'appareil de S. Gravesande ; mais il est plus simple et plus stable que ce dernier. La régularité de sa marche ne laisse d'ailleurs rien à désirer et, ce qui est important, le miroir peut atteindre les plus grandes dimensions. Dans le modèle envoyé à l'Exposition par M. J. Duboscq, la glace n'avait pas moins de $1^m,30$ de long sur $0^m,70$ de large.

Pour mettre l'instrument en état de fonctionner il y a trois conditions à remplir.

Incliner l'aiguille directrice FG à la déclinaison solaire du jour.

Placer l'axe horaire AL dans le méridien.

Mettre le cadran à l'heure vraie.

La première condition peut être immédiatement remplie grâce à la graduation de l'arc D, où la déclinaison du soleil est inscrite de cinq jours en cinq jours.

Pour trouver le méridien et le temps vrai, on oriente *à peu près* l'instrument en ayant soin de tourner l'horloge vers le sud, puis on rend horizontale la table sur laquelle il pose, après quoi on met l'horloge *à peu près* à l'heure. L'aiguille TG étant ainsi amenée à pointer grossièrement vers le soleil, on rectifie la position de l'héliostat en cherchant, par un mouvement combiné de l'axe horaire et de la totalité de l'appareil autour du pivot V, à projeter l'image d'un petit trou placé sur la tige directrice dans le voisinage de F sur le centre d'une plaque d'ivoire située en G.

Ces conditions étant réalisées, il ne reste plus qu'à mettre l'horloge en mouvement et à embrayer les roues de transmission.

Les modèles de machines électriques étaient fort nombreux. On remarquait chez M. Wesselhoft (Riga) un multiplicateur de Tœpler; dans l'exposition de M. Rhumkorf une machine de Holtz; dans celle de M. Hardy un électrophore de Bertsch. Nous avons donné l'an dernier une description complète de la machine de Holtz, il suffira d'ajouter ici que, dans les appareils de Tœpler, de Bertsch et de Piche, la production de l'électricité résulte d'actions inductives analogues.

La théorie de la machine de Holtz ne suppose nullement la continuité du disque isolant fixe. On peut imaginer que ce disque soit fendu suivant un ou plusieurs de ses diamètres, que plusieurs secteurs soient même enlevés, la rotation du plateau donnera toujours lieu à un dégagement d'électricité. Ce fait trouve une confirmation dans la machine de M. Bertsch, cet appareil peut en effet être considéré comme une machine de Holtz dans laquelle les deux fenêtres ont pris des proportions considérables et où, par suite, le disque fixe est réduit à ses deux armatures. Sans avoir un principe essentiellement nouveau, la machine de M. Bertsch est néanmoins fort intéressante à étudier.

Nous espérions il y a un an qu'un modèle de la machine électro-magnétique de Wilde pourrait figurer à l'Exposition. Notre attente a été trompée; le physicien anglais, arrêté pour certains effets d'échauffement des armatures, effets qui, au bout de deux ou trois heures de marche, réduisent dans une proportion notable la quantité de lumière produite, n'a point jugé convenable d'exposer sa machine.

Les appareils électro-magnétiques étaient cependant repré-

sentés dans les galeries du Champ de Mars par deux modèles nouveaux par l'agencement des pièces et par le principe.

Dans les machines de Pixii, Saxton, Clarke, un fer doux courbé en forme d'*U* tourne devant un aimant permanent, et son aimantation passagère, produit des courants électriques dans une bobine de fils de cuivre isolés qui l'entoure. La quantité d'électricité mise en mouvement dans les conducteurs est proportionnelle à la force motrice dépensée, et à la puissance des aimants fixes, puissance qui ne peut dépasser certaine limite, et qui décroît lentement par l'usage. La machine de Nollet, employée par la compagnie l'*Alliance* pour l'éclairage des phares français, et à laquelle M. van Malderen a donné sa forme définitive, n'a pas un autre principe.

L'appareil de Page emprunte encore sa puissance à réactions produites entre un aimant permanent fixe, et un fer doux mobile devant ses pôles.

L'an dernier, M. Wilde fit faire un progrès très-sensible à la construction de ces sortes de machines. Il eut l'idée féconde d'employer les courants produits dans un appareil analogue à celui de Clarke à aimanter des fers doux ; ces électro-aimants font à leur tour naître, dans une armature mobile, des courants dont l'intensité est bien supérieure à celle des courants primitifs, issus de la machine à aimant permanent. Nous avons décrit dans cet annuaire[1] le système du physicien anglais.

Dans les appareils de Wilde, l'origine première des courants électriques est encore un aimant fixe. Au commencement de cette année MM. Wheastone à Londres, et Verner Siemens à Berlin, ont eu en même temps la pensée de supprimer le premier aimant, et de le remplacer par un fer doux qui devient électro-aimant, en vertu des courants engendrés par lui-même dans une armature en rotation. Une fois *amorcée* la machine marche indéfiniment, et réalise la transformation de la chaleur en électricité, à l'aide de fers doux en mouvement les uns devant les autres.

L'appareil de V. Siemens[2] a été construit par Siemens et Halske à Berlin, et se trouvait dans la section prussienne des machines.

[1] *Annuaire scientifique*, 1866. t. VI.

[2] Communiqué de la Société royale de Londres, le 14 février 1867. — *Procedings*, t. XV, n° 90.

Il se compose de trois, ou d'un plus grand nombre nombre de bandes de fer doux courbées en *U*, et entourées de fils de cuivre isolés. Les bobines sont reliées entre elles de manière que, traversées par un courant, elles donnent aux extrémités des fers doux, des pôles magnétiques contraires, et que les pôles de même nom soient voisins les uns des autres, et rangés sur une même ligne. L'ensemble du système est donc comparable à un très-large électro-aimant. Entre les deux lignes polaires tourne une longue armature de fer doux sur laquelle est enroulé un fil de cuivre isolé. Pour mettre en action cette *machine dynamo-électrique*, on dirige dans le fil des bobines le courant de 1 ou 2 éléments de pile, et on fait tourner d'un mouvement rapide l'armature interne. Les fers doux fixes s'aimantent, et par réaction sur le fer doux mobile, ils produisent dans le fil qui enveloppe ce dernier des courants électriques alternativement directs et inverses. Ces courants, convenablement redressés par un commutateur spécial, sont lancés dans le fil des électro-aimants dont l'énergie se trouve immédiatement beaucoup accrue, et qui, par suite, agissent avec une puissance extrême sur l'armature de fer doux mobile. On peut alors supprimer le courant de la pile ; l'aimantation des électro-aimants se maintient et s'accroît par la réaction des courants qu'ils ont eux-mêmes engendrés. La quantité d'électricité produite atteint bientôt un maximum qui dépend de l'énergie de la force employée à faire tourner l'armature mobile, et du volume des fers doux.

Une partie des courants produits peut être dérivé pour produire de la lumière ou tout autre effet.

On peut amorcer la machine par le simple contact d'un aimant permanent en acier.

La machine de Wheastone a été construite[1] à la même époque que celle de Siemens et avec des dispositions peu différentes de celles adoptés par ce physicien. Elle se compose d'une lame de fer doux de $0^m,381$ de longueur et de $0^m,015$ de largeur, recourbée en fer à cheval en son milieu, et entourée de 195 mètres de fil de cuivre isolé de 2 millimètres de diamètre. L'armature est un cylindre de fer doux de $0^m,216$ de long, tournant autour de son axe

[1] *Procedings* de la Société royale de Londres, 14 février 1867.

et entaillé sur deux arêtes opposées de manière à recevoir un fil de cuivre de 24 mètres de longueur[1].

L'appareil, mis en mouvement avec une force de deux hommes, produit assez d'électricité pour rougir un fil de platine de $0^m,10$ de longueur sur $0^m,002$ de diamètre.

Le fait capital indiqué par Wheastone est que l'on obtient un accroissement remarquable des effets électriques lorsque, dans le circuit total, on place un fil de dérivation de manière qu'une fraction seulement du courant produit par l'armature passe dans les bobines du fer à cheval. Ceci résulte d'une diminution considérable dans la résistance du circuit, diminution telle, que bien que l'aimantation des fers doux soit diminuée, la quantité d'électricité mise en mouvement est néanmoins beaucoup augmentée.

La machine de Wheastone ne figurait pas à l'Exposition, mais M. Ladd, constructeur à Londres, avait envoyé un appareil disposé de manière à réaliser une idée presque semblable.

La machine de Ladd (dynamo-magnéto-machine) est formée de deux barres de fer doux de $0^m,19$ de longueur sur $0^m,06$ de largeur et $1^m,25$ d'épaisseur. Sur chacunes d'elles est enroulé environ 27 mètres de gros fil de cuivre. A chaque extrémité se trouve ajustée une armature de Siemens, entourée de 9 mètres de fil isolé. Le courant de l'une des armatures est toujours en communication avec les électro-aimants : celui de la seconde reste disponible pour produire un effet quelconque. La séparation de ces deux courants est le trait distinctif de la machine de Ladd, et c'est par cela qu'elle se rapproche de l'appareil de Wheastone.

La machine de l'Exposition était comprise dans un volume de $0^m,60$ sur 30 et 18 : amorcée par trois piles de Daniel, elle pouvait produire des effets lumineux, comparables à ceux de quarante éléments de Bunsen.

Entre ces nouveaux appareils dynamo-électriques et la machine de Holtz, il y a, il me semble, une analogie remarquable, car dans l'un et l'autre cas, une quantité limitée d'électricité ou de magnétisme transforme en électricité une somme presque indéfinie de travail.

[1] Cette armature a été imaginée en 1857 par Siemens et porte son nom.

L'emploi du vide dans les appareils où doivent se produire certaines réactions chimiques, devient de plus en plus général. Nous avons depuis plusieurs années une chimie à haute pression, nous aurons bientôt une chimie dans le vide. Les vapeurs acides qui existent nécessairement dans les laboratoires exigent que les pompes d'épuisement soient tout en verre, sans aucune pièce métallique. La machine pneumatique en cristal, construite par M. Alvergnat (Paris), satisfait à toutes les exigences de la chimie, et nous la décrirons ici en quelques mots, en nous aidant d'un bois dû à l'obligeance de ce constructeur.

Cet instrument se compose d'un tube barométrique terminé à sa partie supérieure par une boule de grand diamètre, et dont la cuvette fixée à l'extrémité d'un tube en caoutchouc, se trouve mobile. Lorsque cette cuvette est placée, comme on le voit dans la figure ci-jointe, sur le support fixé à la partie supérieure et à la droite de l'appareil, le tube de caoutchouc et le tube barométrique sont remplis de mercure. On amène alors le robinet situé à la bifurcation des tubes de verre dans une position telle, que la boule barométrique n'est plus en relation avec l'air extérieur, mais se trouve par le tube horizontal situé vers la gauche, en communication directe avec le récipient à purger d'air. Si maintenant on abaisse la cuvette à la partie inférieure de l'appareil, le mercure, dont les deux surfaces terminales ne sont plus au même niveau, s'écoulera vers la cuvette et sera remplacé dans la boule barométrique par de l'air venant du récipient. Dès que la chambre barométrique est pleine de gaz, on ferme la communication avec les appareils, on ouvre les robinets du tube à entonnoir situé à la partie gauche de la colonne barométrique, et on rapporte la cuvette vers le haut de l'appareil. Le mercure monte dans la chambre en poussant devant lui l'air qui s'échappe par le tube à entonnoir.

La répétition patiente d'un grand nombre d'opérations semblables à la précédente finira par faire le vide dans le récipient.

Le principe des machines que construit M. Alvergnat, n'est point nouveau, car on peut faire remonter l'idée de l'épuisement par le vide barométrique jusqu'aux membres de l'*Academie del Cimento*, et dès 1858 Geissler avait construit un appareil peu différent ; mais la machine française est supérieure à la précé-

Machine pneumatique de M. Alvergnat.

dente par la perfection de son exécution et son bas prix, 150 francs.

La machine pneumatique de M. Alvergnat est dépourvue d'espace nuisible. Elle peut donc, théoriquement au moins, donner un vide parfait, et c'est elle que l'on doit toujours employer pour purger d'air les vases de petit volume comme les tubes de Geissler.

Dans la pompe pneumatique de Kravogl (Inspruck), l'espace nuisible était également supprimé à l'aide d'un artifice très-ingénieux. L'appareil de ce constructeur se compose d'un piston plein en acier, pénétrant par en bas dans un corps de pompe en verre, et mis en mouvement par un système de leviers et de crémaillières. Une certaine quantité de mercure est enfermée dans le corps de pompe et le remplit *tout entier*, lorsque le piston est au haut de sa course. Les soupapes d'admission et d'expulsion ont la disposition ordinaire, et se trouvent toutes deux à la partie supérieure du corps de pompe.

Les appareils propres à régulariser d'une manière mathématique le mouvement de rotation d'un corps sont du domaine de la physique et de l'astronomie; aussi croyons-nous devoir joindre à notre revue la description des régulateurs isochrones de M. L. Foucault.

La forme de ces régulateurs a souvent varié. On peut les rapporter à deux types distincts; mais le principe théorique est toujours resté le même, et M. L. Foucault en a donné l'énoncé dès 1863[1].

Dans le régulateur centrifuge de Watt, l'angle d'écart des boules croît avec la vitesse de rotation; il est nul si l'axe de rotation est en repos, il serait de 180° si la vitesse de rotation était infinie. Un même régulateur de Watt peut donc servir à *uniformiser* des vitesses de rotation bien différentes, et tout ce que l'on doit demander à cet appareil est de ralentir les changements. Sa sensibilité est variable; elle diminue rapidement avec son degré d'ouverture. Le régulateur de M. Foucault est, au contraire, construit de manière que la durée de rotation de

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 2 novembre 1863, t. LVII.

l'arbre sur lequel il est fixé, à la façon du système de Watt, est indépendante de l'écart des ailettes.

Pour obtenir ce résultat, M. Foucault a ajouté au régulateur à boule ordinaire un système de leviers qui, engagés dans la gorge de la masse centrée, soulèvent cette masse avec une force croissante à mesure qu'elle s'élève et proportionnelle à sa hauteur le long de l'axe. La résultante verticale des diverses forces, pesanteur et force centrifuge, qui agissent sur les pièces mobiles du régulateur, varie précisément de la même manière : il est donc possible d'équilibrer ces deux forces pour une vitesse de rotation donnée. Ceci étant, la moindre accélération augmentant la force centrifuge entraînera l'ensemble des pièces vers le haut de l'axe; le plus faible ralentissement fera coller les boules le long du manchon. La résistance fournie par les ailettes du régulateur sera donc alternativement nulle ou maximum et il n'existe qu'*une seule vitesse* pour laquelle elle fait équilibre à l'excès de force du moteur. L'instabilité de l'équilibre du système a donc pour résultat la *régularisation absolue* du mouvement.

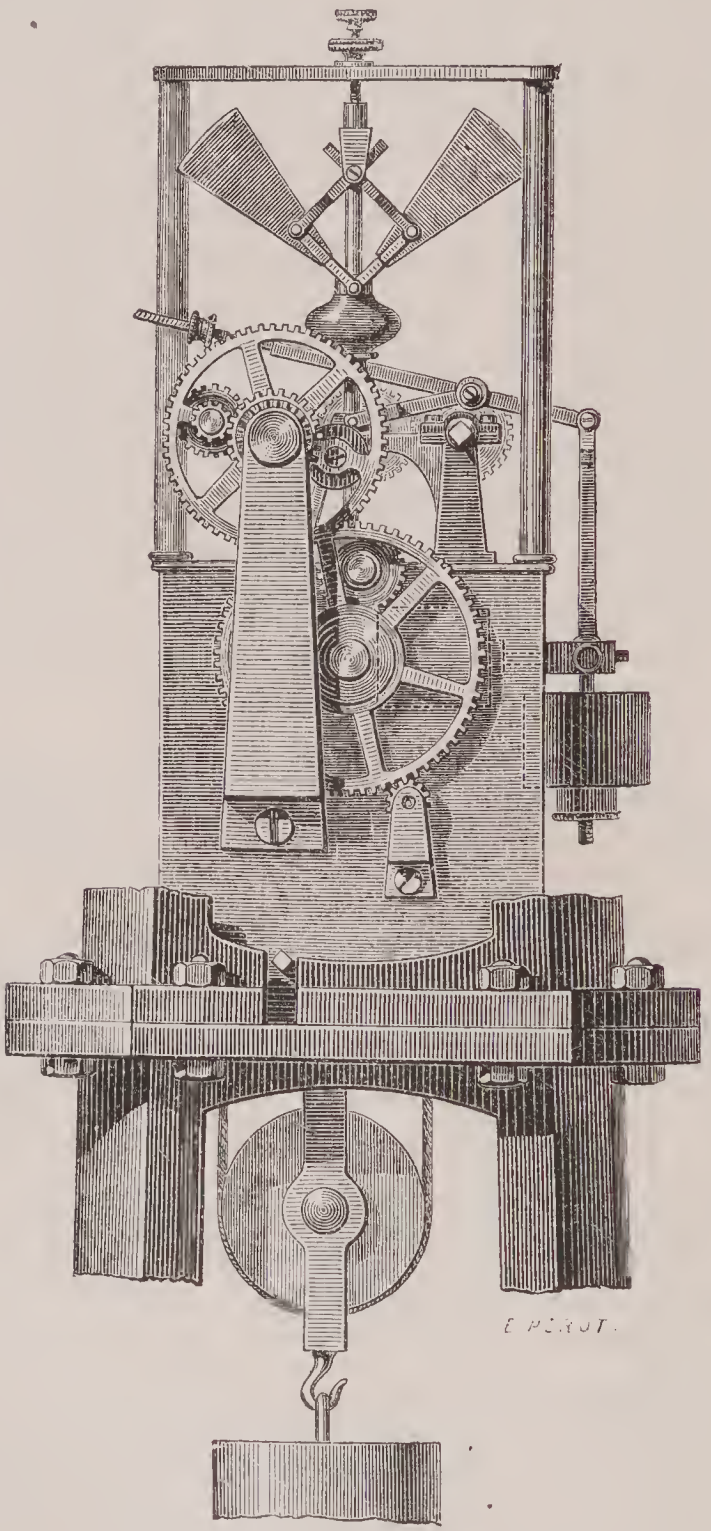
Les premiers régulateurs de M. L. Foucault ont été construits par MM. Secrétan-Eichens. Nous devons à l'obligeance du premier d'offrir aux lecteurs de l'*Annuaire* deux dessins de ces appareils.

Le régulateur dont la figure est reproduite ici ressemble à un régulateur de Watt renversé. Les boules sont remplacées par des ailettes destinées à produire la résistance par leur choc contre l'air, et l'on voit immédiatement au-dessous d'elles la masse pesante. Vers la droite est le système des leviers articulés qui la soulèvent avec une force proportionnelle à sa hauteur.

L'ensemble de l'appareil est ajusté sur une horloge à poids.

Les combinaisons mécaniques propres à donner au système des ailettes un équilibre instable peuvent être assez variées. Dans le régulateur plus simple de la figure de la page 245, ce résultat est obtenu par l'action de deux ressorts à boudin, fixés d'une part aux ailettes, de l'autre sur l'axe du système. La force de ces ressorts est proportionnelle à leur allongement, c'est-à-dire à l'accroissement du sinus de l'angle des ailettes avec la verticale, et c'est précisément proportionnellement à ce même sinus que croît la force centrifuge du système. La force des ressorts et la masse des ailettes peuvent donc être choisies de manière à équilibrer ces deux actions pour

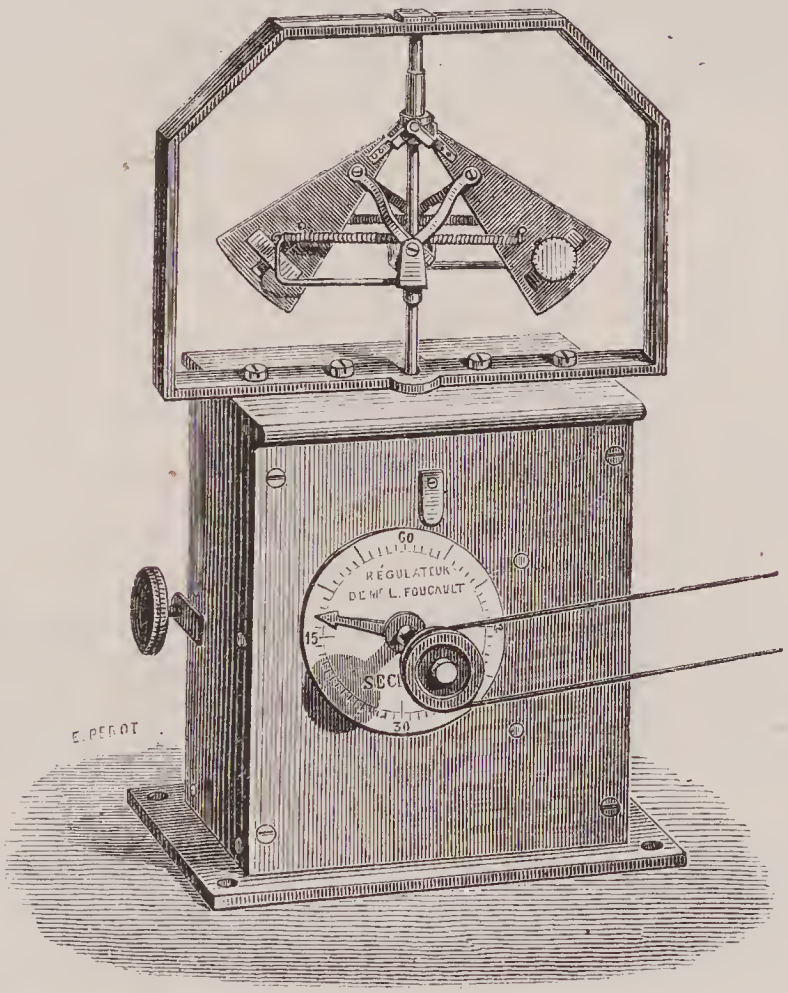
une valeur déterminée de la vitesse ; et comme l'équilibre est instable, cette vitesse sera la seule possible.



Régulateur à poids pour équatoriaux.

Le principe des régulateurs que nous venons d'essayer de décrire est dû à M. Foucault ; mais la conception et la réalisation

des combinaisons mécaniques appartient à M. Eichens, et aujourd'hui qu'il est séparé de la maison Secrétan, il continue pour son propre compte la construction de ces appareils.



Moteur à régulateur isochrome.

M. Eichens avait envoyé à l'Exposition un régulateur de M. Foucault, destiné à l'observatoire de Lima. Il différait de celui représenté page 244, par la disposition des ailettes croisées au lieu d'être de part et d'autre de l'axe, et par l'arrangement des contre-poids sur les leviers qui soulèvent la masse centrale[1]. Cet appareil, construit avec un soin extrême, et dont toutes les parties réfléchissaient la lumière comme un miroir, a valu à M. Eichens une grande médaille d'honneur. Aucune récompense n'était mieux méritée.

[1] Une disposition particulière de ces masses permet même de varier entre certaines limites la vitesse de rotation. Avec le mouvement de Lima et l'équatorial, auquel il sera joint, on pourra suivre alternativement la lune et une étoile.

Les régulateurs de M. Foucault ont dès l'origine été adoptés pour mouvoir les lunettes astronomiques. Le grand équatorial de l'observatoire de Paris, le télescope de $0^m,80$ d'ouverture établi à Marseille, sont pourvus de ces appareils, et la régularité de leur mouvement ne laisse rien à désirer : l'image des étoiles reste des heures entières derrière un fil d'araignée.

G. Rayet.

II

PRODUCTION DU FROID ET DE LA GLACE

APPAREILS EDMOND CARRÉ.

Ce n'est que pour nous conformer à l'habitude que nous intitulons ce paragraphe : Production du froid ; le froid n'existe pas en soi, et ne peut, par suite, être produit. Quelques explications sur ce sujet faciliteront la compréhension de l'appareil que nous avons à décrire.

Pendant longtemps, le froid fut considéré comme un agent spécial, antagoniste du calorique ; aussi parlait-on de transmission, de réflexion et de production du froid. Plus tard et sans avoir encore d'idées nettes sur la nature de la chaleur, on comprit, on démontra que le froid n'est autre chose que l'absence de la chaleur ; un corps ne nous paraît froid que parce qu'il est moins chaud que la main avec laquelle nous le touchons ; un corps paraît d'autant plus froid que, dans un temps donné, il soutire plus de chaleur au corps avec lequel il est en contact. Comment expliquer la transmission du froid ? Deux corps en présence s'envoient de la chaleur, quelque froids qu'ils soient ; s'ils reçoivent par cet échange autant de chaleur qu'ils en envoient, rien ne paraît troublé dans leur état primitif ; mais si l'un envoie plus de chaleur qu'il n'en reçoit, la quantité de chaleur qu'il contient diminuera, il se refroidira. C'est là ce qui explique comment un thermomètre placé en face d'un bloc de glace marque une température de plus en plus basse. Mais pour que cette expérience paraisse concluante, il faut remarquer que si le thermomètre a envoyé plus de chaleur

qu'il n'en a reçue, c'est que la glace a reçu plus de chaleur qu'elle n'en a envoyée, que par suite elle s'est échauffée ou qu'elle s'est fondue en partie.

Si donc, quelle que soit d'ailleurs la nature de la chaleur, le froid n'est que l'absence de cet agent, on voit que ce ne peut être que par une extension du sens des mots que l'on peut dire que l'on produit du froid.

Si l'on soustrait de la chaleur à un corps, il se refroidit ; si l'on opère sur un liquide, on peut le refroidir assez pour le faire passer à l'état solide. Parmi les moyens que l'on peut employer pour refroidir, l'un des plus féconds dans ses applications est l'évaporation des liquides. On sait que si l'on verse une goutte d'éther sur la boule d'un thermomètre, le froid produit par la formation de la vapeur fait baisser la température de plusieurs degrés; l'effet est même sensible au toucher. La difficulté que l'on éprouve à faire passer ce procédé dans la pratique tient à ce que les corps qui se vaporisent à la température ordinaire sont d'un prix élevé et que la vapeur produite se mélangeant avec l'air est perdue. On a vu dans un précédent volume de l'*Annuaire* comment cette difficulté a été ingénieusement vaincue par l'appareil Carré.

Ce procédé est applicable en grand et est maintenant entièrement entré dans la pratique ; on pouvait se faire à l'Exposition une idée exacte des machines et des résultats obtenus, MM. Mignon et Rouart avaient établi dans un hangar spécial une véritable fabrique de glace.

De nouveaux appareils étaient exposés dans la galerie des machines par M. Edmond Carré. Ils reposent également sur l'emploi du froid produit par l'évaporation des liquides, mais cette évapotion est obtenue par un procédé différent. Depuis un demi-siècle, on répète dans les cours une expérience due à Leslie, physicien écossais. Sous une cloche posée sur la platine de la machine pneumatique et dans laquelle on fait le vide, on place un vase contenant de l'acide sulfurique concentré et un autre vase rempli d'eau. Cette eau qui n'est soumise qu'à une très-faible pression se réduit en vapeurs; l'acide absorbant ces vapeurs en vertu de l'affinité qu'il possède pour l'eau, la pression n'augmente pas, de nouvelles vapeurs se forment, et ainsi de suite ; mais l'eau ne peut passer à l'état gazeux qu'en absorbant une énorme quantité de chaleur qu'elle

emprunte à l'eau encore liquide qui se congèle par suite après un temps assez court.

Cette expérience transportée dans la pratique est la base du nouvel appareil Carré; mais il ne suffisait pas d'avoir l'idée de cette application, des difficultés spéciales se présentaient lorsque l'on voulait opérer en grand.

Les vapeurs d'acide sulfurique seraient une cause de destruction pour les appareils à faire le vide dans lesquels le laiton tient une grande place; cet effet, insignifiant dans une expérience de cabinet, devenait un grave inconvénient dans l'industrie. En outre, la machine pneumatique en usage est trop compliquée pour être employée dans une fabrication courante. Aussi, cet appareil fut-il le premier sur lequel se portèrent les perfectionnements; la machine nouvelle est simple, son effet est certain, et le vide produit est bien suffisant, même pour un grand nombre d'expériences de laboratoire; en outre par une disposition spéciale, les parois ne peuvent être attaquées par les vapeurs acides. La machine communique d'une part avec un réservoir en plomb antimonié contenant l'acide, d'autre part avec le vase rempli de l'eau que l'on veut refroidir et transformer en glace : l'explication du phénomène est exactement celle que nous avons donnée en parlant de l'expérience théorique.

L'acide sulfurique n'est pas le seul corps avec lequel l'appareil puisse fonctionner; la potasse et la soude desséchées conviennent également; on peut même employer le chlorure de calcium dans le cas où l'on ne cherche pas à atteindre une température inférieure à 6 ou 7 degrés au-dessus de zéro. Une quantité donnée d'agents chimiques peut suffire pendant un temps assez considérable, paraît-il. Le kilogramme de glace coûte de 5 à 6 centimes au plus; il faut peu de temps pour congeler l'eau et la manipulation est des plus simples; la force motrice nécessaire pour faire mouvoir la pompe pneumatique est faible.

Le prix que nous avons indiqué pour la glace peut être diminué de beaucoup et réduit presque à rien; l'acide sulfurique que l'on emploie est concentré, l'opération le dilue; mais si cette dilution n'est pas poussée trop loin, on peut trouver dans un grand nombre d'industries le placement de cet acide étendu, à un prix à peu près égal au prix de l'acide concentré : la dépense se réduit alors presque uniquement à l'achat de la machine.

Le même procédé peut être employé pour abaisser la température d'un appartement, pour conserver des denrées alimentaires par refroidissement. Indépendamment de la production du froid, la machine peut servir dans les laboratoires pour faire le vide, et son prix modique en généralisera probablement l'emploi.

C. M. Gariel.

III

SIGNAUX POUR LES TEMPS DE BRUME.

Parmi les plus grands dangers que les navigateurs ont à craindre, on doit compter le voisinage des côtes. Lorsqu'elles sont assez élevées pour qu'on ne coure pas le risque d'aller s'y échouer, il peut arriver, il arrive souvent qu'elles sont accompagnées de récifs dangereux, de rochers à fleur d'eau ; il faut donc pouvoir, à distance, reconnaître le point vers lequel on se dirige pour éviter tout accident et pour savoir vers quelle partie on trouvera le port ou la rade que l'on veut atteindre. Dans le jour et par un temps clair, l'aspect du pays, sa conformation, les signaux établis à l'usage de la marine permettent de reconnaître exactement le pays que l'on a en vue ; pendant la nuit, les phares qui sont diversifiés par leur éclat, par les éclipses de durée déterminée pour chaque cas, quelquefois même par leur coloration, et qui, en Europe au moins, sont assez rapprochés pour que l'on en voie au moins deux à la fois, permettent de ne pas se tromper sur la détermination de la distance à laquelle on se trouve de la terre et du point vers lequel on se dirige. Mais en temps de brume, alors que des vapeurs épaisses et abondantes s'élèvent de la mer, on ne peut plus compter sur ces moyens de reconnaissance : les côtes sont totalement invisibles, les phares ne peuvent être reconnus qu'à une faible distance et souvent la coloration de leur lumière est altérée : les feux blancs paraissent presque toujours rouges. Le danger est grand pour les navires à proximité de la terre ; aussi n'hésite-t-on pas, le plus souvent, à retourner au large, pour at-

tendre que le brouillard ait disparu, plutôt que de s'aventurer dans des parages que l'on ne peut reconnaître avec certitude.

De nombreuses études ont été faites pour parer à ce danger. Depuis longtemps déjà des cloches étaient placées sur les jetées pour indiquer aux navires l'entrée des ports; mais ces cloches n'étaient pas entendues assez loin, on pouvait les confondre avec d'autres sonneries de la ville et cette confusion pouvait augmenter le danger. Les détonations d'armes à feu pouvaient être employées plus avantageusement, elles pouvaient avoir lieu à des intervalles de temps égaux pour un même point, mais différent d'un point à un autre; l'inconvénient des approvisionnements de poudre a fait renoncer à ce procédé. On étudia les timbres, les gongs, les sifflets; on emprunta aux Orientaux l'idée de grandes crécelles en bois dont ils font usage pour appeler les fidèles à la prière; on dut également renoncer à toutes ces méthodes dont l'insuffisance fut démontrée par des expériences spéciales.

Des trompettes de grandes dimensions que l'on fait parler au moyen de l'air comprimé ont paru réunir toutes les conditions que l'on recherchait; ces signaux sont adoptés maintenant par la France, par l'Angleterre et par les États-Unis. Ces trois pays avaient exposé chacun un appareil en vraie grandeur; en réalité, il n'y avait que deux modèles, l'appareil français construit par un fabricant anglais est identique à l'appareil que l'Angleterre a envoyé. Les dispositions auxquelles on s'est conformé ont été combinées par M. Holmes, physicien anglais. Une pompe, mue soit par une machine à vapeur, soit par un manége, comprime de l'air à une pression un peu supérieure à une atmosphère et demie dans de grands réservoirs en tôle munis de soupapes de sûreté. La trompette, haute de 2 mètres environ, se place verticalement sur ces réservoirs, son pavillon est recourbé à angle droit. La communication entre la trompette et le réservoir est intermittente; dans le modèle exposé la durée du son est de deux secondes, dix secondes s'écoulent ensuite avant une autre émission d'air; en variant les rapports des temps de bruit et de silence, on peut différencier les divers points du rivage. Un mécanisme spécial fait tourner le pavillon successivement, de sorte que le son puisse être entendu en mer dans toutes les directions.

La machine exposée tant en France qu'en Angleterre nous a paru bien encombrante, bien compliquée; ne pourrait-on pas em-

ployer une pompe à air plus simple, des réservoirs moins énormes; les organes qui déterminent le mouvement de rotation de la trompette et l'émission du son ne pourraient-ils pas être avantageusement remplacés? On est porté à le croire, surtout en comparant à cette machine le *fog-trumpet* exposé par les États-Unis. Là, tout est condensé, les divers mouvements sont simples ; la machine motrice qui est une machine à air est fixée sur le même bâti que la machine soufflante et celle-ci est directement surmontée par le réservoir et la trompette. Il y a une seule machine au lieu de trois distinctes que présente l'autre modèle : le moteur, la pompe à air et le réservoir avec la trompette.

Malgré ces critiques de détails, il faut reconnaître que la trompette à air comprimé satisfait aux conditions que l'on exigeait. Dans des expériences faites à Paris en présence de la commission des phares, le son émis par la trompette a été entendu jusqu'à une distance de 6 kilomètres et demi, malgré une petite brise contraire, tandis qu'une cloche d'acier du poids de 125 kilogrammes n'envoyait de sons distincts qu'à une demi-lieue. Une trompette du même genre avait été établie comme essai à l'île d'Ouessant; des pêcheurs ont affirmé l'avoir entendue, par un temps calme, à une distance de près de 4 lieues.

Il faut espérer que cet appareil sera employé d'une manière générale et qu'il fournira le moyen de parer aux sinistres que chaque année l'on doit attribuer aux brouillards qui s'élèvent près des côtes.

C. M. Gariel.

IV

LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

Les progrès de la télégraphie électrique ont été constants et rapides depuis le moment où l'on a commencé à s'en servir jusqu'à nos jours. Hier on eût traité de folie l'idée de communiquer au loin et en un temps presque inappréciable des signaux capables de représenter une idée ; aujourd'hui l'on peut à quelque distance

que ce soit transmettre une signature, obtenir un fac-simile rigoureux, on n'est pas même arrêté par les océans; qui peut savoir ce que demain nous réserve? Aussi la télégraphie est-elle devenue une science spéciale qui arrive à vaincre les difficultés pratiques qui se présentent dans presque tous les cas ; cette science qui tire ses principes premiers de la physique n'est peut-être pas moins remarquable par les nombreux détails que l'on observe dans les appareils qu'elle emploie que par les quelques idées générales qui la régissent. Mais la multiplicité même de ces détails rend fort difficile toute explication des procédés divers et des améliorations qui sont apparus depuis quelque temps et que l'on a pu voir représentés à l'Exposition universelle. Nous nous efforcerons cependant de faire comprendre les progrès réels effectués, en signalant chaque fois les inconvénients que l'inventeur aura évités, les avantages qu'il aura recherchés. Nous ne pourrons étudier les nombreux modèles exposés, mais nous prendrons les appareils qui nous ont paru résumer les principaux types employés actuellement.

Les télégraphes employés tout d'abord et auxquels on a généralement renoncé depuis, consistaient, en principe, en une aiguille aimantée, qu'un courant faisait dévier dans un sens ou dans l'autre. Ce n'est que dans quelques cas spéciaux que l'on a conservé ce type plus ou moins modifié. Le télégraphe sous-marin qui fait communiquer l'Irlande et les États-Unis se trouve dans des conditions particulières, par suite de l'action de la masse liquide sur le courant transmis : on ne pouvait penser à employer aucun des appareils en usage en général. On revint au type primitif que l'on rendit excessivement sensible ; mais cela n'eut pas suffi si l'on n'avait rendu plus visibles les oscillations de l'aiguille aimantée en y fixant un petit miroir qui projette sur un écran l'image d'une lumière fixe ; en faisant varier les distances respectives des différentes parties de l'appareil on peut rendre les déplacements de l'image assez considérables pour être nettement vus. On a ainsi deux signaux à sa disposition : déviation à droite, déviation à gauche ; on leur a attribué la même signification qu'aux points et aux traits du système Morse, et l'on put de même en les combinant obtenir des lettres, puis des mots. Le dispositif de l'appareil est fort remarquable en tout point, mais il est trop complexe pour être saisi sans une fort longue explication ; il est

fort bien approprié aux circonstances et l'on a pu obtenir pour les dépêches la même vitesse de transmission que dans le système Morse.

Nous ne nous arrêterons point sur les améliorations nombreuses apportées aux divers appareils à cadran, Morse, etc. Nous signalerons seulement un perfectionnement dû à M. Sortais et par suite duquel la bande, sur laquelle s'écrit dans le système Morse la dépêche reçue, se déroule automatiquement d'une certaine longueur après que le dernier signal a été tracé de manière à séparer complétement deux dépêches consécutives, sans l'intervention d'un employé à la réception.

Le système Morse, même manœuvré habilement, ne peut guère transmettre moyennement que sept ou huit mots par minute ; c'est tout ce que l'on peut obtenir de la transmission à la main ; les recherches se sont dirigées vers un mode de transmission mécanique qui pourrait être fort rapide. Dans l'appareil de M. Digney c'est une bande de papier percée de trous longs ou courts qui se meut automatiquement entre des pièces métalliques de manière à déterminer la fermeture du courant pendant des temps longs ou courts. Un appareil perforateur spécial prépare ces bandes, un mouvement d'horlogerie met en mouvement la bande perforée par une disposition particulière, c'est ce même mouvement d'horlogerie qui meut également la bande sur laquelle s'écrira la dépêche transmise par une autre station.

M. Siemens (de Berlin) obtient la transmission de la dépêche au moyen de caractères mobiles du genre des caractères d'imprimerie qui sont placés à la suite dans une réglette passant dans l'appareil transmetteur ; suivant que le caractère porte une ligne ou un point, la dépêche reçue présente un trait long ou un trait court ; un troisième type de caractère correspond aux intervalles. Un petit appareil à clavier permet de composer rapidement la dépêche, un autre appareil la décompose plus tard et distribue les caractères dans des cases séparées.

Nous ne connaissons aucun résultat qui puisse nous donner exactement la valeur pratique de ces deux systèmes qui nous paraissent l'un et l'autre fort ingénieux.

En Angleterre nous avons remarqué le système suivant : une tablette horizontale porte autant de rainures qu'il y a de signes différents à transmettre ; le manipulateur consiste en une pointe

métallique communiquant à la pile et que l'on enfonce d'une longueur donnée dans ces rainures; la tablette est isolante, mais au fond des rainures la pointe métallique rencontre des parties aussi métalliques en nombre variable et de grandeurs diverses, toutes ces parties métalliques correspondant au fil de ligne. En faisant glisser la pointe dans une rainure, le courant passera et sera interrompu de la manière nécessaire pour représenter les traits et les points correspondant à la lettre que l'on vent transmettre. L'employé n'aurait à faire, pour envoyer un signal quelconque, qu'un seul mouvement et encore toujours la même. Nous n'avons non plus, du reste, aucun détail sur l'utilité pratique de cet appareil simple.

L'appareil de Morse était un progrès sur les systèmes précédents en ce que l'on n'avait plus à surveiller la réception de la dépêche, l'appareil écrivait les signaux transmis ; mais il fallait qu'on les traduisît, qu'on les transcrivît; de là perte de temps, de là aussi des erreurs possibles. Le récepteur ne pourrait-il pas écrire en caractères vulgaires, imprimer la dépêche ; telle était la question qui se posait; bien des systèmes furent proposés, bien des essais furent tentés; en général, les appareils étaient compliqués, les transmissions lentes. On est actuellement en possession d'appareils dont l'emploi est fort avantageux; la vitesse de transmission des anciens systèmes a même été dépassée de beaucoup. Nous parlerons plus spécialement dans ce qui va suivre de l'appareil Hughes, qui est d'un usage fort répandu dans l'administration des télégraphes.

On peut concevoir que dans le télégraphe à cadran ordinaire, le cadran lui-même soit mis en mouvement par le courant devant un point fixe, au lieu que ce soit l'aiguille qui se déplace par rapport à un cadran fixe. Si le cadran mobile porte en relief des caractères d'imprimerie encrés, à chaque arrêt du cadran une bande de papier peut venir s'appuyer sur le caractère situé en face de l'index fixe ; la série des lettres ainsi imprimées constitue la dépêche. Telle est la première idée des télégraphes imprimeurs, mais ce procédé, de même que le système à cadran, est lent puisqu'il faut interrompre ou rétablir le courant chaque fois que l'on passe d'une lettre à celle qui la suit par ordre alphabétique, il faut donc quatre, cinq, dix ruptures ou fermetures du courant entre deux signaux de la dépêche. Le système Hughes est basé sur un

principe différent, principe que l'on a cherché à appliquer de diverses manières dans les autres appareils du même genre ; il est beaucoup plus rapide ainsi qu'on va le comprendre.

Supposons que l'on ait à la station de départ et à la station d'arrivée deux roues marchant absolument d'un même mouvement ; que ces roues portent à la circonférence les lettres de l'alphabet, les chiffres ; au moment où, par exemple, la lettre *a* passe devant un index fixe au départ, envoyons un courant dans le fil qui fait communiquer les deux stations, ce courant a pour effet dans l'appareil récepteur d'appuyer une bande de papier sur la roue portant les types, si les appareils sont convenablement réglés, ce sera aussi sur la lettre *a* que le papier aura été pressé ; il en sera de même pour toute autre lettre, et la dépêche sera ainsi transmise lettre par lettre, avec une seule émission du courant par chaque signal. Des mécanismes spéciaux ont pour effet d'encrer les types d'imprimerie à chaque tour, de dérouler la bande de papier d'une quantité convenable après chaque lettre. La difficulté consiste à obtenir des mouvements bien réguliers des roues au départ et à l'arrivée et à empêcher que l'action du papier qui vient presser la roue des types ne ralentisse son mouvement. La régularité des mouvements est obtenue et conservée par l'action d'une lame vibrante agissant sur un frein qui permet d'obtenir une vitesse constante ; le mouvement est produit par un poids faisant tourner un mécanisme d'horlogerie.

Le principe est fort remarquable, et l'appareil satisfait à toutes les exigences du service ; on peut expédier de quinze à vingt mots à la minute et la dépêche est prête à être livrée immédiatement, on n'a qu'à couper la bande après le signe *final*. L'administration des télégraphes emploie ce système sur une grande échelle et nous croyons que son usage tend de plus en plus à se généraliser.

L'appareil Hughes que nous avons pris comme type n'est pas le seul modèle que nous offrait l'Exposition ; mais nous ne pouvons les décrire tous ; les autres n'ont pas été employés d'une manière continue que nous sachions, à l'exception toutefois du système Duardin qui a fonctionné régulièrement pendant deux ans sur une ligne d'Angleterre.

Après avoir étudié les télégraphes imprimant les dépêches, nous devons parler des télégraphes qui transmettent l'écriture même

de la dépêche, qui en tracent à distance un fac-simile. Plusieurs appareils figuraient au catalogue de l'Exposition ; l'un d'eux, celui de M. Bonelli (Italie), n'avait pas été apporté ; il eût cependant été intéressant de le comparer aux systèmes exposés en France, celui de M. Caselli et celui de M. Lenoir dont nous allons parler maintenant.

Le système Caselli étant le plus ancien, nous nous en occuperons d'abord. Deux styles décrivent avec des mouvements parfaitement semblables des arcs de cercle sur une portion de surface cylindrique ; l'une de ces pointes est à la station de départ, l'autre à la station d'arrivée ; après avoir décrit un arc dans un sens, les styles se déplacent d'une même quantité parallèlement aux génératrices du cylindre, puis décrivent un nouvel arc en sens contraire, et ainsi de suite. A la station de départ, la dépêche écrite avec une encre isolante sur un papier métallique est placée sur l'un des cylindres qui communique avec le fil de ligne, la pointe étant mise en rapport avec la pile ; le courant passera tant que la pointe ne rencontrera pas un trait d'encre, à cet instant il sera interrompu ; à l'autre station, un papier imbibé d'une dissolution de sels métalliques est fixée sur le cylindre ; le mécanisme à cette station est tel que le courant d'une pile locale passe par la pointe et le cylindre, chaque fois que le courant venant du point de départ est interrompu et inversement ; l'action du courant passant au travers du papier est de décomposer le sel qu'il renferme et de donner naissance à une coloration bleue. On voit que cette coloration se produira chaque fois que, au départ, le style aura rencontré un trait d'encre et seulement à cet instant. Le même effet se produira pour la course suivante et l'on obtiendra une figure reproduisant l'original au moyen d'une série de hachures fines et rapprochées.

La grande difficulté que présentait ce système consiste dans l'obtention de mouvements identiques pour les deux styles ; elle a été surmontée par l'emploi de deux longs pendules égaux qui effectuent leurs oscillations dans le même temps et dont on transmet le mouvement aux styles ; pour éviter que par suite d'une différence insensible pour chaque oscillation mais notable après un long temps les erreurs s'accumulent, on commande le départ du pendule à chaque oscillation au moyen d'électro-aimants agissant sous l'influence du même courant aux deux stations. Malgré ces

précautions et d'autres encore, on n'a pu arriver à ce que les mouvements fussent identiques dans les deux sens, en sorte que l'on ne peut transmettre une même dépêche que lorsque le pendule se meut dans une direction ; pour éviter de perdre du temps, on emploie le mouvement dans la direction contraire à transmettre une seconde dépêche située à côté sur un second cylindre, les deux cylindres communiquant alternativement avec le fil de ligne.

Cet appareil a donné de bons résultats ; on est même parvenu à réexpédier une dépêche reçue, en la soumettant à un traitement simple. Cet appareil est délicat, il est lent à transmettre les dépêches, eu égard au temps perdu pour les blancs, pour les interlignes. Il est le premier appareil de ce genre ayant fonctionné, et il nous paraît à ce point de vue du plus haut intérêt.

Le système Lenoir tout ingénieux qu'il est n'est au fond qu'une application du même principe ; on ne peut même prévoir sur quelle autre idée s'appuierait un appareil destiné à cet usage. Il faut bien reconnaître que les dispositions de l'appareil Lenoir diffèrent totalement de celles du télégraphe Caselli. La dépêche écrite de même avec une encre isolante sur papier métallique est enroulée sur un cylindre qui tourne constamment autour de son axe tandis qu'un style se déplace uniformément suivant une parallèle à cet axe ; à l'arrivée une disposition analogue est adoptée pour la pointe réceptrice et le papier sur lequel la dépêche sera tracée ; les deux pointes tracent, par suite de cette combinaison de mouvements, des hélices sur chacun des cylindres que l'on fait tourner d'une manière identique aux deux stations. Le courant passera dans le fil de ligne ou sera interrompu suivant que, au départ, la pointe rencontrera le papier métallique ou l'encre isolante. Le passage ou la rupture du courant déterminera, à l'arrivée des mouvements éloignant la pointe du cylindre ou l'en rapprochant. Comme le papier est enroulé autour d'un cylindre enduit d'encre lithographique, un petit trait apparaîtra chaque fois que la pointe pressera sur le papier, et l'on conçoit que de même que dans le télégraphe Caselli, l'ensemble de ces petits traits représentera la dépêche.

Le mouvement des cylindres est produit par des mouvements d'horlogerie ; pour obtenir une identité complète des durées de rotation, de petits pendules coniques agissent sur des volants hori-

zontaux et fournissent une première approximation ; à chaque sixième de révolution, les deux mouvements sont repérés et correspondent identiquement au moyen de courants émis à ces instants par le volant de l'appareil transmetteur et venant passer dans des électro-aimants qui attirent ou retiennent les bras du volant de l'appareil récepteur, suivant que celui-ci est en retard ou en avance.

Dans cet appareil le mouvement de rotation est continu ce qui est préférable au mouvement alternatif et l'action mécanique de la pointe à l'arrivée me paraît plus commode en pratique que l'action chimique. Aussi l'appareil serait-il à l'abri de reproches si, pour n'employer qu'un seul fil à la double transmission du courant de la dépêche et du courant de régularisation, l'inventeur n'avait été conduit à admettre un mécanisme dont l'effet est basé sur une différence d'intensité. A l'Exposition, l'appareil marchait régulièrement et les résultats étaient des plus satisfaisants ; mais sur une grande ligne, sous l'influence des variations électriques de l'atmosphère, l'effet différentiel ne sera-t-il pas influencé d'une manière fâcheuse? c'est ce que l'expérience apprendra, et cette expérience se fait en grand sur une ligne de chemin de fer. Quoi qu'il en soit, cet appareil est très-ingénieux et fort intéressant et il est à souhaiter que l'usage puisse s'en généraliser.

Nous ne croyons pas que l'on puisse rêver des applications plus étonnantes de l'électricité que celles dont nous avons essayé de donner une idée : les caprices de l'imagination des auteurs orientaux se trouvent atteints, sinon dépassés ; mais l'on est habitué dans notre siècle à tant de merveilles que l'on ne s'étonne plus guère : chemins de fer et télégraphes, quels qu'ils soient, n'attirent que peu l'attention ; les aérostats seuls, malgré leurs imperfections, captivent la foule ; mais les ascensions se répètent, chacun peut monter en ballon, le prestige va s'effacer, et lorsque le secret de la direction de la navigation aérienne sera trouvé, nul peut-être ne s'en étonnera et ne saisira cette occasion d'admirer la puissance de l'intelligence de l'homme.

Dans les grandes villes, à Paris, à Londres les divers bureaux de quartier ne pouvant expédier toutes les dépêches qu'ils reçoivent, on les transporte au bureau central qui les expédie. Ce transport doit être rapide et le moins coûteux possible ; on a dû renoncer, pour ce dernier motif surtout, à l'emploi de voitures aux-

quelles l'on a eu recours jusqu'à présent à Paris. A Londres un essai a été fait pour employer la pression de l'air à faire circuler dans un tube reliant les stations un étui contenant les dépêches et formant piston : une machine à vapeur à une extrémité meut une pompe qui fait le vide ou comprime l'air suivant le sens dans lequel le mouvement doit s'effectuer ; les résultats ont été satisfaisants.

L'administration française a établi cette année un système analogue pour faire communiquer le Grand Hôtel et le bureau de la place de la Bourse. L'appareil a été construit sur les indications de M. Baron ; l'air est comprimé au point de départ au moyen d'un mécanisme simple employant la pression de l'eau de la ville. Le tube dans lequel se meut le piston fait deux fois le parcours et c'est la pression produite au Grand-Hôtel qui commande le mouvement dans l'un et l'autre sens. On est assez satisfait du résultat pour avoir décidé l'établissement d'un second tuyau pour relier le bureau de la place de la Bourse à l'administration centrale. Nous devons dire que si la durée de la transmission qui est de moins de trois minutes pour le trajet actuel fait considérer l'appareil employé comme fort convenable, on le jugerait peut-être moins favorablement en l'étudiant au point de vue mécanique et mettant en regard l'effet produit et le travail dépensé : la dépense d'eau est de 1,000 mètres cubes par jour environ.

A Berlin, MM. Siemens et Halske ont établi, il y a quelques années déjà, un système du même genre, mais dans lequel la variation de pression de l'air est obtenue à l'aide d'une machine à vapeur.

Ces derniers appareils ne sont point à proprement parler du ressort de la télégraphie électrique, mais ils s'y rattachent assez intimement pour qu'il nous ait paru nécessaire d'en dire quelques mots.

En revenant à la question principale et pour conclure, nous dirons que la télégraphie électrique a su vaincre jusqu'à présent les obstacles qu'elle a rencontrés, et qu'à chaque exigence nouvelle elle a pu répondre par l'invention d'appareils satisfaisant aux conditions posées. Il ne lui reste plus guère qu'à chercher à transmettre la parole, elle l'essayera, je n'en doute pas et peut-être même y parviendra ; il n'est pas absurde de supposer que l'on arrivera dans un an ou dans un siècle à transmettre un mot prononcé, un

air chanté comme actuellement on reproduit une écriture, un dessin : la reproduction à distance de certaines vibrations n'est pas impossible.

C. M. Gariel.

V

DES INSTRUMENTS MÉTÉOROLOGIQUES ENREGISTREURS

I

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Tous ceux qui ne sont pas indifférents aux progrès des sciences savent que, depuis cinquante ans surtout, de grands efforts ont été faits pour donner une vive impulsion aux études météorologiques, et en tirer le meilleur parti pratique.

Les stations d'observation se sont multipliées considérablement sur les différents points du globe, des chiffres ont été recueillis et publiés par millions, mais si tous ces efforts ont permis de se faire une idée assez exacte du climat des lieux qui sont le siége des observations ; si, dans quelques observatoires, on est parvenu à formuler certaines prévisions du temps à courte échéance; les observateurs sont loin cependant d'être arrivés à la connaissance des lois fondamentales qui régissent les grands phénomènes atmosphériques.

En présence de ces résultats négatifs, beaucoup de savants se demandent aujourd'hui si le moment n'est pas venu de changer le système d'observations suivi jusqu'ici et de substituer au travail de l'homme celui des machines; le seul qui permettrait d'obtenir la trace de toutes les plus petites variations atmosphériques qui peuvent se produire dans le cours d'une journée.

En effet, il faut avoir fait soi-même des observations météorologiques pendant plusieurs années consécutives, pour savoir combien ce genre d'occupation est fastidieux et même pénible à certaines époques de l'année. Il faut avoir eu sous sa direction des personnes

chargées d'effectuer ce travail pour se faire une idée des difficultés que l'on éprouve à écarter du registre d'observations des chiffres erronés, quelquefois même imaginaires.

Enfin, à moins de circonstances exceptionnelles et de ressources spéciales, les observations météorologiques ne se font généralement que pendant le jour, à des intervalles assez éloignés et toutes les variations qui se produisent entre deux observations consécutives échappent complétement à l'enregistrement.

Si, au contraire, on pouvait remplacer l'homme par une machine chargée d'enregistrer tous les phénomènes journaliers, d'une manière automatique et continue, on éviterait d'un seul coup toutes les causes d'erreur et on comblerait toutes les lacunes, qui sont la conséquence inévitable du système actuel d'observation. Mais, quand bien même l'usage des météorographes serait généralement adopté dans tous les observatoires d'une certaine importance, pour que ces observateurs automatiques pussent rendre à la météorologie tous les services qu'elle paraît en droit d'en attendre, il resterait encore à atteindre un but non moins important, celui de l'uniformité dans les appareils et les systèmes de mesure. C'est à cette seule condition que les observations recueillies seraient immédiatement comparables entre elles et qu'intelligibles pour tous, sans travail préalable, elles pourraient faire rapidement le tour du monde civilisé.

Le jour où toutes ces conditions seront réalisées est encore bien éloigné de nous, sans doute, mais si réellement l'avenir de la météorologie est dans cette seule voie, nous avons tout lieu d'espérer que les météorologistes de tous les pays ne tarderont pas à s'y engager.

C'est encouragé par cette espérance que nous allons exposer dans cet *Annuaire* l'état actuel de la question des météorographes, et essayer d'indiquer les principales difficultés qu'il s'agit de résoudre pour arriver à une solution satisfaisante du problème.

L'idée d'employer, pour l'étude des phénomènes météorologiques, des instruments disposés de manière à conserver la trace des influences qu'ils auraient subies, et à enregistrer eux-mêmes tous les états par lesquels ils auraient passé, est déjà ancienne.

D'après M. Radau[1], Magellan aurait, dès le siècle dernier (1782), publié un mémoire dans lequel il insiste sur l'utilité d'un appareil dit *météorographe perpétuel*, où tous les instruments météorologiques se trouveraient réunis de manière à tracer des courbes parallèles sur un même tableau entraîné par une horloge; l'auteur y décrit et y figure, en outre, les divers intruments dont il conseille l'emploi.

Si, comme l'a fait observer le R. P. Secchi, Magellan n'a pas exécuté le météorographe décrit dans son mémoire, si les procédés d'enregistration indiqués étaient peu pratiques, quelques-uns même tout à fait insuffisants; il n'en est pas moins vrai que, dès cette époque, ce physicien se préoccupait déjà d'une question qui, de nos jours, attire sérieusement l'attention des météorologistes.

Le nombre des instruments météorologiques enregistreurs, inventés depuis bientôt un siècle, est considérable; on peut dire même que l'on en invente de nouveaux tous les jours. Mais, il est un but vers lequel doivent tendre tous les efforts des inventeurs, et qui peut se formuler comme il suit:

1° Construire un météorographe dont le principe d'enregistrement, aussi simple que possible, soit applicable au plus grand nombre des phénomènes météorologiques à la fois.

2° Obtenir sur une même feuille d'enregistrement le plus grand nombre de résultats à la fois, et dans des conditions telles qu'il ne soit pas nécessaire d'effectuer aucun travail additionnel pour saisir la liaison, ou établir la comparaison des divers phénomènes.

Certes, il serait très-désirable que, dans la construction des météorographes, on pût adopter un seul système d'enregistrement, consignant tous les résultats sur une feuille *unique*, mais nous devons reconnaître qu'une solution aussi générale du problème présente de très-grandes difficultés.

La construction du météorographe, composé par le R. P. Secchi, prouve, il est vrai, que l'on peut y parvenir, mais le prix si élevé d'une telle machine et l'insuffisance, comme exactitude, des indications de quelques instruments qui en font partie, expliquent pourquoi, dans les divers observatoires, on emploie généralement

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. LXV, p. 360.

plusieurs systèmes d'enregistrement et plusieurs enregistreurs séparés.

Nous allons étudier les divers systèmes mis en œuvre depuis un siècle, pour obtenir l'enregistrement des phénomènes météorologiques, et nous décrirons ensuite les principaux instruments enregistreurs appartenant à chacun de ces systèmes.

II

DES DIVERS SYSTÈMES D'ENREGISTREMENT.

Les diverses combinaisons imaginées pour effectuer l'enregistrement des variations éprouvées par les instruments météorologiques dans le cours d'une journée, peuvent se rapporter à trois systèmes différents qui sont :

1° Le système mécanique.

2° Le système électro-magnétique.

3° Le système photographique.

Ces trois systèmes sont souvent combinés entre eux.

Système mécanique. — Le système mécanique consiste à trouver dans les variations éprouvées par les instruments météorologiques eux-mêmes, la force nécessaire pour mettre en mouvement les styles enregistreurs et leur faire laisser des traces. Ce système est le plus ancien et le plus économique, mais il devient souvent insuffisant en raison du peu d'intensité de la force développée par les variations de quelques instruments.

De plus, certains appareils exigent, pour donner de bonnes indications, d'être placés dans une position isolée, loin, par conséquent, de l'enregistreur ; et, dans ce cas, l'électricité seule permet de transmettre les indications à de grandes distances et en même temps de simplifier les combinaisons mécaniques propres à l'enregistrement.

Les instruments proposés par Magellan, comme devant composer son météorographe perpétuel, appartenaient tous au système mécanique, nous verrons dans le chapitre suivant de cet article qu'un grand nombre d'autres effectuent leurs enregistrations sans le secours de l'électricité ou de la photographie, mais nous pouvons dire, dès à présent, que lorsqu'il s'agit de constituer un mé-

téorographe, c'est-à-dire de réunir un certain nombre d'instruments de façon à enregistrer simultanément leurs indications sur une même feuille, il devient nécessaire d'avoir recours à un système mixte dans lequel la photographie ou électro-magnétisme deviennent les auxiliaires indispensables de la mécanique.

Système électro-magnétique. — Ce système consiste à utiliser l'électricité dynamique pour enregistrer d'une manière continue ou intermittente les variations éprouvées dans le cours d'une journée par les divers instruments météorologiques.

L'emploi de ce fluide est fondé, en général, sur cette propriété bien connue du fer doux de devenir un aimant, quand un courant passe dans un circuit dont il est lui-même entouré, et de perdre instantanément son magnétisme, dès que le courant est interrompu.

Le magnétisme communiqué momentanément au fer doux, dans ces conditions, peut être utilisé de plusieurs manières :

1° On ferme pendant un temps très-court, à l'aide d'une horloge et à des intervalles égaux, le courant d'une pile dans le circuit de laquelle on intercale un ou plusieurs électro-aimants qui, par suite de l'attraction de leurs ancres, déterminent dans une bande de papier sans fin la pénétration d'aiguilles dont les index propres à chaque instrument sont munis. Une fois la piqûre effectuée, la bande de papier avance d'une quantité donnée, par le mouvement de recul du levier et de l'ancre, lorsque le courant est interrompu.

Ce système employé par M. Hipp de Neufchâtel et appliqué à l'Observatoire de Berne, a l'avantage de n'exiger qu'une horloge pour la marche de toute une série d'appareils.

2° On introduit dans le circuit d'une pile, d'une part l'instrument météorologique, de l'autre l'organe qui doit inscrire sur l'enregistreur les indications fournies par ledit instrument. La fermeture du courant est produite, à des instants plus ou moins rapprochés, par l'instrument météorologique lui-même, de telle sorte que l'état de ce dernier, au moment même de la fermeture, est immédiatement transmis à l'enregistreur et noté.

Dans ce système, l'organe enregistreur se compose ordinairement d'un ou plusieurs électro-aimants, et de pièces de contact armées de tiges terminées elles-mêmes par des crayons ou des pointes métalliques en cuivre ou en acier. L'attraction du contact

par l'électro-aimant, lorsque le courant est fermé, fait marquer au style de la tige un point ou un trait.

3° D'autres fois, l'enregistreur fait partie du circuit électrique, il est recouvert d'un papier chimique sur lequel appuient constamment des ressorts frotteurs en métal appartenant également au circuit. Toutes les fois que le circuit vient à être fermé, la substance chimique est décomposée là où repose le frotteur et le papier se charge de points ou de traits, de couleur variable, suivant la nature de la substance qui imprègne la feuille d'enregistrement. Ce système laisse beaucoup à désirer, la décomposition chimique devenant souvent nulle par un temps sec, et trop considérable par un temps humide ; aussi est-il à peu près abandonné en météorologie.

Les piles employées dans les appareils appartenant au système électro-magnétique sont composées le plus souvent d'éléments de Daniell, qui produisent un courant d'une intensité sensiblement constante et uniforme.

C'est une pile de cette nature qui fournit au météorographe du R. P. Secchi, dont nous parlerons plus loin, l'électricité nécessaire ; mais la disposition primitive de l'élément Daniell a été notablement modifié.

Dans les éléments qui composent la pile du P. Secchi, l'électrode positif est terminé inférieurement par un cylindre de cuivre découpé en larges dents qui s'enfoncent dans une couche de sulfate de cuivre. Une rondelle de flanelle posée sur cette couche de sulfate supporte elle-même une couche de sable, puis vient le cylindre de zinc reposant lui-même sur le sable et entouré de sable et d'une dissolution de sulfate de cuivre jusqu'à la partie supérieure du vase.

D'après le directeur de l'observatoire romain, cette pile peut rester chargée pendant plus de six mois et ne nécessite que l'addition d'un peu d'eau sur le sable, lorsque le niveau de la solution est descendu trop bas.

A l'observatoire de Berne, M. Wild a donné la préférence aux éléments de Bunsen ainsi composés :

Dans un grand vase en verre se trouve d'abord un cylindre de charbon de 10 centimètres de diamètres et de 40 centimètres de haut, dans l'intérieur duquel on introduit une forte plaque de zinc amalgamé retenue par une planchette en bois goudronné,

qui repose elle-même sur le bord supérieur du cylindre de charbon. Chacun de ces éléments est rempli d'une solution presque saturée, à parties égales, d'alun et de sel de cuisine.

M. Wild dit qu'une batterie composée de semblables éléments peut marcher sans interruption pendant six mois, sans qu'il soit nécessaire de s'en occuper.

Il existe tant de sortes de piles que l'on comprend sans peine qu'il soit possible d'en employer beaucoup d'autres, différentes de celles précédemment indiquées, pour obtenir l'électricité nécessaire à l'enregistrement électro-magnétique. Mais il ne faut jamais perdre de vue que les piles adoptées doivent avant tout satisfaire aux conditions suivantes :

1° Fournir un courant aussi constant et aussi uniforme que possible ;

2° Fonctionner régulièrement, avec peu ou point d'entretien, pendant une longue période de temps ;

3° Être économiques.

Système photographique. — L'enregistrement par la photographie offre tout à la fois de grands avantages et de grands inconvénients, ce qui fait que les avis sont très-partagés sur ce système.

Bien que les procédés photographiques actuels permettent de préparer facilement, et plusieurs jours à l'avance, du papier suffisamment sensible pour être impressionné par la lumière d'une lampe ou d'un bec de gaz, bien qu'il soit facile d'acheter ces papiers tout préparés, beaucoup d'observateurs ne se soucient pas d'effectuer les manipulations, d'ailleurs fort simples, que nécessite ce système, et préfèrent avoir recours aux deux autres.

Cependant, quoique l'enregistrement photographique exige l'entretien perpétuel d'un foyer de lumière, quelques manipulations pour fixer les épreuves, un appareil optique, etc., on doit reconnaître qu'il offre, d'autre part, l'incontestable avantage de supprimer, dans beaucoup de cas, tous les organes de transmission et par suite de rendre les instruments enregistreurs basés sur ce système, beaucoup moins chers.

De plus, le système photographique permet d'obtenir des indications essentiellement continues et d'enregistrer des variations que, en raison de leur petitesse, les autres systèmes seraient tout à fait impuissants à transmettre aux enregistreurs.

Jusqu'ici l'enregistrement photographique paraît avoir été appliqué plus particulièrement au baromètre, au thermomètre et au magnétomètre ; mais on comprend qu'il soit possible de soumettre au même système d'enregistrement les variations de niveau d'un pluviomètre ou d'un atmomètre ; il suffirait, pour cela, d'adjoindre aux réservoirs de ces instruments un tube faisant office de vase communiquant et dont la branche recourbée viendrait aboutir dans la pièce où serait installé l'appareil photographique. L'application du même système d'enregistrement aux anémométrographes ne serait guère possible en raison des conditions d'isolement auxquelles ils doivent satisfaire.

Pour donner une idée du système d'enregistrement basé sur l'emploi de la photographie, nous décrirons ici le barométrographe de M. Ronalds, avec les quelques modifications que M. Salleron a jugé utile d'y apporter.

Barométrographe photographique. — L'appareil est supporté par une table sur laquelle se trouvent disposées, sur une même ligne horizontale, les pièces suivantes :

1° Un bec de gaz ou une lampe d'Argant ;

2° Une lentille convexe servant à concentrer la lumière sur le tube barométrique ;

3° Un baromètre à cuvette ordinaire, suspendue verticalement et maintenue par un collier fixé à la table ;

4° Un diaphragme percé d'une ouverture verticale contre laquelle est appliquée une échelle de verre divisée en demi-millimètres. Cette échelle touche le tube afin de se trouver aussi près que possible de son axe ;

5° Un objectif achromatique projetant sur la feuille de papier sensible une image amplifiée du ménisque et des divisions de l'échelle ;

6° Un cadre placé au foyer de cet objectif et renfermant la feuille de papier photographique. Devant la face qui regarde la lumière se trouve un écran immobile percé d'une fente verticale et étroite.

Le cadre repose sur un chariot et peut se mouvoir dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'objectif.

L'objectif et le cadre sont reliés et recouverts par une caisse qui ne laisse arriver sur le diaphragme que les rayons émanés de l'objectif. Un mécanisme d'horlogerie imprime au cadre un mou-

vement qui, en vingt-quatre heures, lui fait parcourir toute la longueur de la feuille de papier.

Il résulte de l'ensemble de ces dispositions, que la lumière concentrée par la lentille est projetée sur le tube barométrique, elle traverse le sommet de la chambre et la partie correspondante de l'échelle divisée ; mais elle se trouve arrêtée par la colonne mercurielle dont l'ombre se projette au travers du diaphragme. Cette silhouette du ménisque et les divisions de l'échelle sont amplifiées par l'objectif et projetées sur la feuille de papier qui reçoit leur image par la fente verticale de l'écran immobile. Cette feuille de papier étant solidaire du chariot participe à son mouvement, de sorte que chacune de ces parties vient successivement s'impressionner devant l'ouverture verticale.

Quand on a retiré la feuille de papier du cadre et qu'on lui a fait subir les préparations nécessaires pour la fixation de l'épreuve, la partie impressionnée par la lumière offre l'image d'une courbe formée par le sommet du ménisque, dont la hauteur est immédiatement mesurée par les divisions de l'échelle imprimées en même temps.

Connaissant l'heure à laquelle l'impression a commencé, il suffit d'appliquer sur le papier une glace divisée en 24 parties représentant les lignes horaires, pour déterminer l'heure qui correspond à chaque point de la courbe.

Pour tenir compte de l'influence de la température sur la hauteur barométrique, M. Salleron a imaginé de joindre au tube du baromètre un second tube fermé aux deux extrémités et renfermant à la température de 0°, une hauteur de mercure égale à 76 centimètres.

Ce second tube fait office de thermomètre, les variations dans la longueur de la colonne mercurielle correspondent exactement à celles que la colonne barométrique éprouve sous l'influence des changements de température, les ménisques de ces deux colonnes sont photographiés en même temps, et en prenant la différence des courbes fournies par les deux instruments, on a la hauteur barométrique réduite à zéro.

Thermométrographe photographique. — Pour établir un thermomètre photographique, il suffit de substituer au tube barométrique précédent, un thermomètre divisé sur verre, de telle sorte que le mercure et les divisions de l'échelle sont photographiés

en même temps. Le thermomètre est courbé à angle droit en dessous de la partie divisée, afin que le réservoir, passant par une ouverture pratiquée dans la cloison, soit exposé aux influences atmosphériques. Mais cette disposition s'accorde généralement peu avec les conditions d'isolement et de bonne exposition dont on doit tenir compte quand il s'agit d'installer des thermomètres à l'air libre, aussi, dans ce cas, le système photographique appliqué aux thermomètres ordinaires, nous paraît-il peu satisfaisant.

Bien qu'il soit possible de construire des thermomètres se prêtant parfaitement à l'enregistrement photographique, bien que les indications de presque tous les instruments météorologiques puissent être enregistrées par ce système, nous devons reconnaître que jusqu'ici les observateurs paraissent avoir donné la préférence aux deux autres systèmes, mécanique ou électro-magnétique, séparés ou combinés.

Des enregistreurs employés dans les trois systèmes. — On donne aux appareils enregistreurs diverses dispositions, suivant le système d'enregistrement adopté.

Les enregistreurs peuvent être des feuilles de papier ou de carton disposées verticalement ou horizontalement, mobiles ou immobiles, et sur lesquelles des crayons ou des pointes métalliques tracent des points ou des lignes droites ou courbes.

D'autres fois ce sont des cylindres horizontaux ou verticaux, en métal ou en bois, recouverts de feuilles destinées à l'enregistrement, et qui le plus souvent sont animés d'un mouvement de rotation. Le mouvement peut être imprimé au cylindre par l'instrument météorologique qui tourne lui-même (anémographes); d'autres fois, c'est une pendule, et dans ce second cas, la vitesse de rotation est uniforme.

Dans le système photographique, comme nous l'avons vu précédemment, les enregistreurs se composent de papiers sensibles disposés verticalement, et qu'un mécanisme convenable fait avancer, d'un mouvement lent et uniforme devant un cadre également vertical, et percé d'une fente longitudinale et étroite.

Les feuilles d'enregistrement employées dans les deux autres systèmes, sont préparées de diverses manières :

Quand les styles traceurs sont des crayons à la mine de plomb, on emploie simplement le papier ou le carton.

Si les styles sont métalliques, en laiton ou en cuivre, on se sert

de feuilles recouvertes à la brosse d'une couche de blanc de zinc, sur lesquelles les pointes métalliques laissent une trace noirâtre, partout où elles sont en contact avec le papier.

Quand l'apparition des points ou des traits sur la feuille d'enregistrement doit être la conséquence d'une décomposition chimique, produite par le courant qui circule dans le circuit, on se sert de papiers préparés au cyano-ferrure de potassium ou au nitrate de manganèse. Dans le premier cas, les pointes d'acier donnent des traits bleus, dans le second, des traits bruns.

On peut enfin se servir d'un carton recouvert d'une légère couche de noir de fumée. Les pointes des styles enregistreurs en frottant sur la feuille ainsi enduite produisent un tracé blanc que l'on fixe ensuite à l'aide d'une légère couche de vernis.

Le plus souvent, les feuilles d'enregistrement portent des lignes horizontales également espacées, et qui sont dites *lignes horaires*, parce qu'il suffit que les enregistreurs cylindriques ou plans se meuvent d'une vitesse uniforme, pour que l'on puisse déduire de la position des points ou des traits par rapport à ces lignes l'heure exacte à laquelle les divers phénomènes ont été enregistrés.

III

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX INSTRUMENTS MÉTÉOROLOGIQUES ENREGISTREURS.

Anémométrographes.

Les anémométrographes sont des instruments destinés à enregistrer tout à la fois la direction et la vitesse du vent.

De nombreux essais ont été tentés pour arriver à enregistrer d'une manière continue ou à des intervalles plus ou moins rapprochés la direction et la vitesse du vent, nous n'indiquerons ici que les principaux appareils, c'est-à-dire ceux qui nous ont paru les plus pratiques ou les plus propres à figurer dans les météorographes.

1° *Anémographe d'Osler.* — Un des plus anciens anémographes est celui d'Osler qui date de 1837. Dans cet instrument, l'arbre de la girouette porte à sa base un pignon, engrenant avec une crémaillère horizontale, muni d'un crayon dont la pointe repose

sur une feuille de papier également horizontale et animée d'un mouvement de translation uniforme. Tant que le vent conserve la même direction, le crayon trace une ligne droite dans la colonne correspondant à ce rhumb, si la girouette tourne, le pignon fait mouvoir la crémaillère qui entraîne le crayon dans une autre colonne.

D'autre part, une plaque verticale orientée par la girouette repose sur deux ressorts à boudin, quand le vent souffle, les ressorts se compriment et la plaque entraîne dans son mouvement un fil, auquel est attaché un second crayon qui trace sur la même feuille, mais perpendiculairement au sens du mouvement de translation du papier.

Un grave inconvénient inhérent à cet instrument, c'est que lorsque la girouette vient à faire un tour entier dans le même sens, la crémaillère entraîne le crayon hors de la feuille, d'où resulte une interruption dans l'enregistrement.

En 1855, M. de Moncel a imaginé un anémographe du même système, mais dans lequel le crayon ne cesse jamais de tracer la direction du vent.

MM. Beckley et Salleron ont, dans le même but, modifié l'appareil d'Osler, en employant, à l'enregistrement de la direction, une spirale d'Archimède en laiton, orientée par la girouette, et traçant sur un cylindre recouvert d'un papier préparé au blanc de zinc.

2° *Anémographe Beckley.* — Cet instrument qui fonctionne à l'Observatoire de Kew, en Angleterre, se compose : 1° d'une girouette, 2° d'un moulinet de Robinson. L'enregistreur est un cylindre qu'un mouvement d'horlogerie fait tourner d'un mouvement uniforme, et dont la surface est recouverte d'une feuille préparée au blanc de zinc. Cette feuille est divisée en deux parties, l'une composée de huit colonnes destinées à l'enregistration de la direction des huit rhumbs principaux des vents, l'autre de cinq colonnes correspondant à des vitesses de vent de dix en dix fois plus grandes. Enfin, cette même feuille porte dans le sens horizontal vingt-quatre lignes horaires.

Sur le cylindre horizontal reposent deux autres cylindres qui reçoivent un mouvement de rotation, le premier, de la girouette, le second du moulinet, mais après que la vitesse de ce dernier a été diminuée d'une quantité connue.

Ces deux cylindres sont munis chacun d'une hélice en laiton, faisant relief et n'appuyant jamais que par un seul point sur le papier.

La direction du vent est enregistrée à chaque instant par l'hélice de la girouette qui trace un trait dans la colonne correspondant au rhumb du vent qui souffle.

Quant à la vitesse, par suite du mouvement de rotation du cylindre enregistreur et de celui propre au moulinet, l'hélice appartenant à ce dernier cylindre trace sur le premier une série de courbes qui en donne la mesure. En effet, les distances des divers points de ces courbes à une ligne zéro, étant proportionnelles aux angles de rotation du cylindre à hélice, il en résulte que la détermination de la vitesse du vent, dans un temps donné, peut toujours être ramenée à la mesure d'un certain nombre d'ordonnées; en tenant compte, bien entendu, du rapport des vitesses du moulinet et du cylindre à hélice.

Anémométrographe de M. Radau. — Dans ses *Études sur l'Exposition*, M. Radau a proposé la construction d'un instrument qui, plus parfait que ceux du même genre, imaginés par Whewell et d'autres, permettrait de lire la vitesse et la direction du vent sur la même courbe.

Dans ce système, la girouette oriente un cylindre vertical, en face duquel un mouvement d'horlogerie fait descendre un crayon guidé par une tige verticale, ce crayon trace la courbe des directions. Pour avoir les vitesses, il suffit d'interrompre le tracé ou d'imprimer une marque à côté de la courbe chaque fois qu'un moulinet de Robinson a fait un nombre de tours déterminé, le nombre des marques comprises entre deux positions du crayon donne le chemin parcouru par le vent dans l'intervalle de temps correspondant.

Les interruptions du tracé où les marques pourraient être obtenues par un organe solidaire de l'axe du moulinet lui-même, et l'appareil entier fonctionnerait alors sans qu'il fût nécessaire de faire intervenir l'électricité.

Pour mémoire, nous citerons encore, comme appartenant au système mécanique : 1° un anémomètre indiqué par un anonyme dans le *Mechanic's Magazine* de 1824, et que M. Muncke rend propre à l'enregistrement par l'addition d'un crayon aux aiguilles de la direction et de la vitesse ; 2° l'anémographe de Landriani;

3° celui de M. Taupenot, etc., etc. Ces divers instruments laissent tous à désirer et peuvent être remplacés par d'autres plus satisfaisants.

Anémographe de l'Observatoire de Berne. — MM. Hasler et Escher, directeurs de l'atelier fédéral des télégraphes, à Berne, avaient exposé cette année un météorographe, renfermant un certain nombre d'instruments enregistreurs dont nous aurons à indiquer successivement la disposition. Parmi ces instruments construits, d'après les indications de M. Wild, directeur de l'Observatoire de Berne, se trouvait un anémographe composé de deux parties, l'une destinée à enregistrer la vitesse du vent, l'autre la direction, c'est de cette dernière dont nous avons à nous occuper ici.

La direction du vent est fournie par une girouette angulaire dont l'axe porte à sa partie inférieure une roue conique, qui engrène avec une autre roue égale, destinée à communiquer un mouvement de rotation à un arbre sur lequel se trouvent fixées huit cames disposées en spirales, de façon que la distance de chaque came est égale à $\frac{1}{8}$ de la circonférence de l'arbre. Ces huit cames correspondent à huit ressorts verticaux, dont les extrémités inférieures sont terminées en équerre par de petites roulettes mobiles, à bords un peu tranchants, et qui n'appuient sur la feuille verticale de papier destinée à l'enregistrement, que lorsqu'une des cames de l'arbre vient presser sur l'un des ressorts.

En outre, derrière cette feuille de papier, et à la hauteur des roulettes, se trouve fixée une règle mince en laiton, munie de huit entailles verticales, équidistantes, et qui correspondent aux huit roulettes.

Il résulte de cette disposition que lorsque le vent souffle dans une direction, la lame correspondante, en appuyant sur le ressort, fait presser la roulette inférieure contre le papier qui entre alors dans la rainure verticale, les roulettes tracent donc des lignes en creux sur la feuille à mesure qu'elle descend, lignes qui sont continues, tant que la direction du vent ne change pas. De plus, les cames sont assez larges pour que, par un vent intermédiaire aux huit rhumbs, les roulettes des deux ressorts correspondants pressent simultanément sur le papier ; ce qui permet de reconnaître huit autres nouvelles directions du vent.

Système électro-magnétique. — Les observations anémomé-

triques, pour être satisfaisantes et d'une exécution facile, demandent à être faites dans des conditions particulières, qui s'opposent souvent à l'emploi des appareils que nous venons de décrire et qui, nécessitent l'intervention de l'électricité dans l'enregistrement. En effet, les instruments destinés à indiquer la direction et la vitesse du vent doivent, avant tout, être placés dans un lieu isolé, à une certaine hauteur, et, si l'on veut alors observer ces instruments sans fatigue ni grand déplacement, il faut faire en sorte que leurs indications viennent s'enregistrer d'elles-mêmes dans le cabinet. Or, à moins de circonstances exceptionnelles, les anémographes précédemment décrits, ceux même d'Osler, de Beckley, Wild, etc., qui exigent une transmission directe de la rotation des arbres de la girouette ou du moulinet, cessent dès lors de satisfaire à la condition si importante de l'isolement et doivent forcément être remplacés par les anémométrographes électriques, les seuls qui permettent de transmettre à de grandes distances les indications de vitesse et de direction. C'est à l'étude de ces instruments que nous consacrerons le chapitre suivant.

Anémographe de M. du Moncel. — Le premier anémographe construit en France, date de 1852, il a été imaginé par M. du Moncel. Cet appareil comprend trois parties : 1° l'anémomètre proprement dit ; 2° l'appareil récepteur ; 3° les calculateurs.

L'anémomètre se compose d'une girouette et d'un moulinet de Woltmann, destinés à donner la direction et la vitesse du vent.

L'axe de la girouette porte un frotteur à piston qui appuie sans cesse sur une circonférence métallique (commutateur azimutal) divisée en huit secteurs isolés les uns des autres. Chaque secteur est relié par un fil spécial avec l'appareil récepteur de manière à être en rapport avec un même pôle de la pile, tandis que l'autre pôle est en communication avec le frotteur à piston par l'intermédiaire de la crapaudine de l'axe de la girouette : il résulte de cette disposition qu'un courant propre à l'un des huit secteurs se trouve toujours fermé suivant la position du frotteur et qu'il transmet au récepteur la direction du vent correspondante.

La vitesse du vent est fournie par le moulinet de Woltmann qui, à l'aide d'un mécanisme convenable, transmet un mouvement de rotation à un frotteur semblable au précédent et qui se meut sur une seconde circonférence métallique disposée au-dessus de la première. Un premier circuit, en rapport avec l'appareil ré-

cepteur et le moulinet, n'est traversé par le courant électrique que toutes les fois que ce moulinet a fait soixante tours, il va aboutir à l'appareil destiné à enregistrer la vitesse *diurne* du vent. Huit autres circuits, correspondant aux huit secteurs de la seconde circonférence métallique et à l'appareil enregistreur, ne sont affectés qu'isolément suivant la direction de la girouette et ne sont traversés par le courant que tous les quinze tours du moulinet. Les courants qui traversent ces circuits mettent en mouvement les appareils destinés à enregistrer la vitesse du vent dans chacune de ses directions.

L'appareil récepteur est un cylindre animé tout à la fois d'un mouvement uniforme de rotation et d'un mouvement lent de translation et devant lequel se trouvent échelonnés des électro-aimants mettant en mouvement des crayons qui tracent sur le papier dont le cylindre est recouvert.

Un mécanisme impossible à décrire ici, permet de noter tout à la fois : 1° l'ordre de succession et de durée partielle des différents vents ; 2° la somme totale des instants pendant lesquels chaque vent a soufflé ; 3° le nombre de tours accomplis par le moulinet suivant chaque direction de vent et aux différentes heures du jour, etc.

Anémographe de M. J. Salleron. — En 1856, M. J. Salleron a modifié l'instrument précédent en le simplifiant considérablement et en y introduisant des dispositions alors peu connues en France et déjà employées avec succès en Angleterre.

La girouette est remplacée par les roues à ailes disposées d'après les indications de M. Piazzi Smyth, directeur de l'observatoire d'Edimbourg, le moulinet de Woltmann par celui à ailes hémisphériques du Dr Robinson, de l'observatoire d'Armagh (Irlande).

La direction du vent est enregistrée électriquement, de la même manière que dans l'appareil de M. du Moncel, c'est-à-dire par l'intermédiaire d'un frotteur et d'un commutateur azimutal.

L'axe du moulinet de Robinson porte une vis tangente qui engrène avec une roue dentée portant deux cent cinquante dents, de telle sorte qu'un tour entier de cette roue correspond à deux cent cinquante tours du moulinet et à un chemin parcouru par le vent qui dépend à la fois de la longueur des bras du moulinet et des propriétés spéciales à cet appareil. A chaque tour entier de la roue dentée, le circuit se trouve fermé et le courant électrique fait fonctionner l'enregistreur. Le cylindre enregistreur décrit un tour

entier en 24 heures d'un mouvement uniforme et porte une feuille de papier sur laquelle tont tracées vingt-quatre lignes horizontales équidistantes qui sont les lignes horaires. Dans l'origine ce papier était préparé au cyano-ferrure de potassium et neuf ressorts frotteurs destinés à enregistrer, l'un la vitesse du vent, les huit autres, les directions (voyez Enregistreurs, p. 263) appuyaient sur cette feuille.

Depuis cette époque, M. Salleron a apporté à cet instrument de nouveaux perfectionnements[1] et a remplacé le papier au cyano-ferrure par un autre au blanc de zinc. Les enregistrements s'effectuent par l'intermédiaire de pointes en cuivre qui viennent frapper sur le papier toutes les fois que le courant passe dans l'électro-aimant dont elles dépendent. Cinq électro-aimants suffisent pour enregistrer la vitesse et huit directions du vent.

Anémométrographe de M. Hervé-Mangon. — L'anémométrographe de M. Hervé-Mangon rappelle à la fois ceux de MM. du Moncel et Salleron ; toutefois, dans cet appareil, l'enregistrement s'effectue à l'aide de crayons qui tracent des points ou des lignes sur une bande étroite de papier animée d'un mouvement uniforme.

Anémométrographe Secchi. — La grande machine météorographique composée par le R. P. Secchi, et qui figurait à l'Exposition de 1867, renfermait un anémométrographe.

La direction du vent était donnée par un instrument analogue à celui imaginé par M. du Moncel, et l'enregistrement avait lieu à l'aide de crayons qui traçaient des lignes horizontales et parallèles sur un tableau vertical et mobile.

La vitesse était fournie par un moulinet de Robinson, un compteur enregistrait électriquement le chemin parcouru par le vent. En outre, un mécanisme particulier effectuait, sur le tableau mobile, l'enregistrement du chemin parcouru par le vent dans l'espace de 1 heure.

Anémographe bernois. — Dans l'anémographe bernois dont nous avons parlé plus haut, la vitesse du vent est fournie par un moulinet de Robinson dont le mouvement de rotation se communique, en diminuant de vitesse, à un axe horizontal qui attire à lui une bague munie d'une tige de marquation terminée par une

[1] V. *Des instruments météorologiques à l'Exposition universelle.* Pouriau. Études sur l'Exposition. Librairie Lacroix.

pointe très-fine. La bague et sa tige s'avancent horizontalement devant la bande de papier qui se déroule lentement et toutes les 10 minutes, un courant électrique détermine un choc sur la tige dont la pointe trace alors une piqûre sur le papier. (Système Hipp de Neufchâtel.) Immédiatement après, la bague et sa tige sont ramenées à leur point de départ. La distance de la piqûre à une ligne verticale fixe représente donc le chemin parcouru par la pointe en 10 minutes, chemin qui est proportionnel à celui parcouru par le vent.

Barométrographes.

Les barométrographes sont des instruments destinés à enregistrer les variations de la pression atmosphérique aux différentes heures de la journée ; les dispositions adoptées pour leur construction appartiennent aux trois systèmes d'enregistrement précédemment décrits.

Le principe des barométrographes photographiques ayant déjà été étudié, nous ne nous occuperons ici que des baromètres à enregistrement mécanique ou électro-magnétique.

Système mécanique. — Barométrographe à balance. — Le baromètre qui se prête parfaitement à l'enregistrement purement mécanique est le baromètre à balance dont il a été parlé beaucoup dans ces derniers temps et dont la première idée paraît appartenir à Samuel Morland, ce qui fait remonter son apparition à la fin du dix-septième siècle. Depuis cette époque, cet instrument a été l'objet de nombreuses modifications ; un savant italien, le R. P. Cecchi, de Florence, y a apporté de précieux perfectionnements et enfin le R. P. Secchi, de Rome, l'a fait entrer dans son grand météorographe qui figurait à l'Exposition universelle.

Le barométrographe à balance du P. Secchi se compose d'un tube en fer forgé portant à sa partie supérieure une chambre cylindrique et à sa partie inférieure un manchon en bois qui plonge d'une certaine quantité dans le mercure de la cuvette. Ce tube est suspendu à l'une des extrémités du fléau coudé, d'une balance, et son poids est équilibré, d'une part par un poids fixé à l'extrémité de l'autre bras du fléau, de l'autre par la poussée du mercure déplacé dans la cuvette. Dans ces conditions, suivant que la pression atmosphérique augmente ou diminue, le tube s'enfonce ou se re-

lève et ne s'arrête dans une nouvelle position d'équilibre que lorsque le poids suspendu à l'autre bras du fléau s'est suffisamment abaissé ou élevé par suite du mouvement inverse du tube.

Quant à l'enregistrement des variations barométriques, il s'effectue par l'intermédiaire d'un parallélogramme de Watt fixé sur l'axe de rotation du balancier et dont la tige inférieure est armée d'un crayon destiné à tracer sur un tableau quadrillé et mobile la courbe barométrique.

Barométrographes anéroïdes, etc. — 1° En outre du barométrographe photographique déjà décrit, M. Salleron emploie aussi le baromètre métallique, dit *anéroïde*, pour les divers météorographes qu'il construit.

A cet effet, le baromètre est fixé sur la tablette même de l'enregistreur et la partie de l'aiguille indicatrice opposée à celle qui se meut sur le cadran est prolongée hors de la boîte par une tige très-fine terminée par une pointe de cuivre. Toutes les 10 minutes, une roue à rochet solidaire de l'horloge soulève un marteau qui, en retombant sur la tête du style, fait marquer un point sur la feuille préparée au blanc de zinc qui recouvre le cylindre enregistreur.

A l'observatoire de Munich, M. Laurent emploie depuis plus de vingt ans un baromètre à siphon, muni d'un flotteur qui agit sur l'une des branches d'un levier, tandis que l'autre branche porte une pointe qui trace une courbe sur un cylindre enduit d'un mélange de cire et de noir de fumée.

M. Grosclaude fils, à Genève, a transformé, à l'aide d'une disposition assez simple, le baromètre à siphon en barographe. La force mécanique nécessaire à l'enregistrement est empruntée au mécanisme de la sonnerie des horloges dites : Coucous de la Forêt-Noire. Un fil métallique, tiré tous les quarts d'heure, fait soulever un petit marteau qui frappe sur l'aiguille mobile propre au baromètre et lui fait marquer un point sur une carte d'enregistrement qui, elle-même, avance d'une quantité déterminée après chaque coup de marteau. Le même système, déjà ancien du reste, est appliqué aussi au thermomètre métallique et à l'hygromètre à cheveu.

Le barographe anéroïde exposé par M. Breguet, en 1867, se compose de quatre boîtes superposées afin de rendre les variations de pression plus sensibles. Les oscillations de ce baromètre sont

transmises à un levier indicateur qui trace une courbe sur un papier enduit préalablement de noir de fumée. Ce papier recouvre un cylindre auquel un mouvement d'horlogerie fait décrire une révolution entière en huit jours.

Enfin, nous citerons seulement pour mémoire les barographes imaginés par Wren, Changeux, Kreil, Schultze, etc., qui fonctionnent sans le secours de l'électricité, mais qu'il est inutile de décrire ici.

Système électro-magnétique. — M. Wild emploie comme le P. Secchi le baromètre à balance, seulement l'enregistrement des variations de pression a lieu par l'intermédiaire d'un courant électrique qui, toutes les 10 minutes, détermine un choc sur la pointe de la tige fixée sur l'axe du fléau de la balance. La distance de la piqûre, par rapport à une ligne qui correspond à la hauteur barométrique moyenne, indique la pression et la distance de ce même point à la ligne horaire voisine, donne l'heure correspondante. A Neufchâtel, M. Hipp donne la préférence au baromètre anéroïde rendu solidaire d'une pendule électrique qui, à des intervalles égaux, fait en même temps agir le style enregistreur et avancer la feuille d'enregistrement d'un mouvement uniforme.

Le barographe construit par M. Hardy et installé à l'observatoire de la Havane, par M. Poëy, se compose d'un baromètre à siphon, d'un diamètre assez fort et dont la petite branche est munie d'un flotteur. Celui-ci est attaché à un fil, qui fait mouvoir l'axe d'une poulie sur la gorge de laquelle s'enroule un autre fil portant une règle en aluminium, destinée à équilibrer le flotteur et à amplifier ses mouvements. Cette règle est munie d'un style maintenu à une petite distance d'un cylindre tournant. L'horloge qui fait mouvoir ce cylindre ferme, à intervalles très-rapprochés, le circuit d'un électro-aimant qui détermine alors un choc sur la règle et fait tracer au style une marque sur le cylindre.

En 1857, M. Régnard a eu l'idée d'employer l'électricité à gouverner la marche d'un style indicateur, de manière à lui faire suivre tous les mouvements de la colonne mercurielle dans le baromètre.

Un peu plus tard, M. Montigny, d'Anvers, a adressé à l'Académie de Bruxelles, un mémoire dans lequel il décrit un barométrographe dont les indications sont enregistrées directement par courbes au crayon comme dans l'appareil de M. Régnard ; seule-

ment le mécanisme appelé à faire mouvoir le style est notablement différent, nous n'avons pas appris que ces baromètres aient été exécutés.

Enfin, en 1863, M. Hough a fait construire pour l'observatoire Dudley, dans l'État de New-York, un barographe dont le système d'enregistration rappelle celui de MM. Réguard et Montigny.

Voir les publications spéciales sur ce sujet[1].

Thermométrographes.

Les thermométrographes sont des instruments ayant pour objet l'enregistrement continu ou intermittent des variations que la température de l'air peut subir dans l'espace de 24 heures.

De tous les instruments enregistreurs, les thermomètres sont peut être ceux dont il est le plus difficile d'obtenir des indications exactes et dont l'introduction dans les météorographes offre le plus de difficultés. Ces obstacles sont la conséquence des conditions d'isolement, auxquelles un thermomètre doit satisfaire, et du peu d'intensité de la force qui prend naissance par suite des variations de longueur de la colonne mercurielle.

Comme pour les barométrographes, les divers thermographes appartiennent aux trois systèmes d'enregistrement ; le système photographique nous étant déjà connu, nous ne parlerons que des deux autres.

Système mécanique. — On peut employer, à l'exemple de Morstadt et Klingert, des thermomètres à mercure ouverts dont la colonne liquide fait descendre ou monter un flotteur armé d'un crayon, qui trace sur un tableau ou un cylindre animé d'un mouvement uniforme. Outre la difficulté que l'on éprouve à obtenir la force nécessaire à l'enregistrement, il arrive fréquemment avec ces instruments, que le mercure glisse entre le flotteur et les parois du tube et les indications deviennent alors tout à fait inexactes.

La dilatation et la contraction des métaux a été mise à profit dans la construction des thermométrographes, notamment par Kreil.

[1] *Exposé des applications de l'électricité.* Th. du Moncel. T. IV, 1862 Études sur l'Exposition universelle de 1867. Radau.

A l'observatoire de Munich, M. Laurent fait usage d'un tube en zinc de $0^m,013$ de diamètre et de $2^m,50$ de longueur, dont l'extrémité libre agit sur l'une des branches d'un levier, tandis que l'autre porte un style traceur à son extrémité.

A Florence, dans la Loggia dell' Orgagna, les PP. Cecchi et Antonelli ont installé un thermomètre formé d'une barre métallique de 10 mètres de longueur dont l'extrémité libre fait mouvoir une aiguille sur un cadran. Il serait très-facile de transformer cet instrument en thermographe. Le météorographe du P. Secchi renferme également un thermographe métallique composé d'un gros et long fil de cuivre, long de 17 mètres, tendue à l'air libre et dont les dilatations ou contractions sont transmises à l'appareil enregistreur par l'intermédiaire d'un levier multiplicateur et d'un autre fil qui va aboutir à l'organe chargé de mettre en mouvement le crayon traceur pendant que le tableau quadrillé opère la descente.

Un des inconvénients de ce genre de thermomètres, c'est de nécessiter l'emploi de fils métalliques plus ou moins longs pour transmettre à l'enregistreur les variations de longueur du thermomètre lui-même. Ces fils étant soumis aussi à des dilatations ou à des contractions doivent influer notablement sur les résultats transmis à l'enregistreur. On pourrait sans doute remplacer avantageusement ces fils métalliques intermédiaires par des tiges légères en sapin, peu sensibles aux variations de température et que l'on ferait passer à travers de petits tubes en zinc, de manière à les mettre à l'abri de la pluie ou de l'humidité.

Système électro-magnétique. — En 1842, M. Wheatstone a eu, le premier, l'idée d'appliquer l'électricité à l'enregistrement des variations thermométriques, le principe de son thermographe était le suivant : Une sonde en platine pénètre dans le tube capillaire d'un thermomètre à mercure et monte et descend d'une manière périodique entre deux niveaux fixes. Au moment où la sonde touche le mercure, le circuit électrique se trouve fermé et un électro-aimant qui en fait partie applique sur une feuille de papier mobile un crayon qui trace pendant tout le temps que la sonde reste plongée dans le mercure et qui, au contraire, abandonne le papier, dès que la sonde est sortie du liquide. — La longueur du trait vertical obtenu pendant la fermeture du courant représente la hauteur du mercure au-dessus du niveau

inférieur atteint par la sonde quand elle descend et on peut en déduire la hauteur du niveau variable de la colonne liquide dans le thermomètre.

En 1850, M. Jelinek, en Autriche, a décrit des thermographes basés sur un système semblable.

En 1857, M. Salleron a installé au ministère de la marine un thermomètre qui fonctionne d'après le système Wheatstone.

En 1857. M. Régnard a proposé un thermographe dans lequel les variations du niveau de la colonne mercurielle ont pour conséquence de fermer deux sortes de courants qui agissent d'une manière inverse sur un levier porte-style, quand le niveau baisse, le levier baisse aussi, le contraire a lieu quand le niveau s'élève, et dans ces mouvements, le style suit le levier en traçant sur un cylindre enregistreur mû par un mécanisme d'horlogerie. Le thermographe présenté la même année par M. Montigny, d'Anvers, a beaucoup d'analogie avec le précédent, mais nous ne croyons pas que ces instruments, comme les barographes du même genre, aient jamais été construits.

Dans son météorographe, le P. Secchi a appliqué le système de M. Wheatstone à l'enregistrement des variations subies par un psychromètre, instrument composé de deux thermomètres, l'un sec, l'autre humide. Tous les quarts d'heure, un crayon trace sur le tableau enregistreur une ligne dont la longueur représente la différence de niveau des deux thermomètres ; en réunissant, d'une part, les extrémités inférieures ; de l'autre, les extrémités supérieures de ces lignes, on obtient deux courbes correspondant, la première au thermomètre humide ; la seconde au thermomètre sec.

Cet instrument a l'inconvénient d'être très-coûteux, très-compliqué, d'un dérangement facile. M. Radau lui trouve encore beaucoup d'autres défauts et conseille aux météorologistes de ne pas s'en servir. M. Salleron, de son côté, a reconnu que les indications fournies par cet instrument laissaient souvent beaucoup à désirer, en raison surtout de la facile oxydation du mercure qui retarde alors l'établissement du contact entre la sonde et le niveau de la colonne mercurielle.

Le thermomètre métallique de M. Breguet a été transformé en thermomètre enregistreur dans plusieurs pays.

A l'observatoire de Berne, l'extrémité libre de la spirale est

munie d'une petite tige verticale qui imprime un mouvement circulaire alternatif à un axe en acier très-mobile sur lequel se trouve fixée la tige de marquation qui se meut devant la feuille d'enregistration. Un courant électrique fait, par l'intermédiaire d'un mécanisme déjà décrit, tracer à la pointe de cette tige une piqûre dont la position, par rapport à une ligne fixe, permet de déterminer la température au moment de l'enregistrement.

M. Léopolder, de Vienne, avait aussi exposé un thermomètre métallique enregistreur. Dans cet instrument, les mouvements de l'extrémité libre de la spire sont transmis par l'intermédiaire de l'électricité et d'électro-aimants à un style traceur. Ce dernier se meut horizontalement, à droite ou à gauche, suivant que la température s'élève ou s'abaisse et, en même temps, son crayon trace une courbe sur un cylindre auquel une pendule imprime un mouvement uniforme de rotation.

Tels sont les principaux thermomètres enregistreurs parvenus à notre connaissance. A notre avis, les thermographes les plus propres à être introduits dans les météorographes sont ceux dont les indications peuvent être transmises électriquement à un enregistreur unique, parce que ce sont les seuls faciles à installer dans des conditions convenables d'isolement et d'orientation ; à ce point de vue, nous croyons que les thermomètres métalliques à la Breguet, sont appelés à rendre de grands services à la météorologie.

Udométrographes.

Les udométrographes sont des instruments destinés à indiquer les hauteurs d'eau tombée pendant des intervalles de temps déterminés ainsi que les heures auxquelles les précipitations aqueuses se sont produites.

Système mécanique. — 1° Citons d'abord comme un des plus anciens, l'udomètre à balance d'Osler ;

2° A l'observatoire de Lisbonne, un udométrographe construit par M. Salleron se compose d'un entonnoir qui reçoit l'eau et qu'un tube conduit dans un réservoir accroché à un dynamomètre à ressorts, très-sensible et situé près de l'enregistreur. Un levier articulé après le dynamomètre multiplie la flexion éprouvée par les ressorts sous l'action du poids de l'eau amoncelée dans le

réservoir, tandis qu'un crayon fixé à l'extrémité du levier trace sur l'enregistreur une ligne dont la longueur est traduite en millimètres de hauteur d'eau.

Pour limiter la course des ressorts et ne pas les surcharger d'un poids qui puisse en modifier l'élasticité, le réservoir est muni d'un siphon analogue à celui des vases de Tentale. Ce siphon s'amorce seul et vide le réservoir quand l'eau a atteint un certain niveau.

On obtient ainsi un écoulement intermittent dont chaque intervalle correspond à $0^m,05$ de hauteur d'eau. Le crayon trace donc des lignes représentant chacune $0^m,05$ de pluie et subdivisées elles-mêmes en millimètres et fraction de millimètres.

3° *Udométrographe Secchi.* — Le météorographe Secchi qui figurait à l'Exposition universelle de 1867 renfermait un udométrographe ainsi disposé :

L'eau qui tombe dans le pluviomètre est conduit dans un réservoir et le niveau liquide, en s'élevant, soulève un flotteur muni d'un index qui se meut le long d'une règle graduée. La tige du flotteur porte une chaîne qui s'enroule sur une poulie circulaire garnie d'un disque en papier sur l'une de ses faces.

Quand le flotteur s'élève, un poids fixé à l'extrémité de la chaîne s'abaisse et communique à la poulie un mouvement de rotation, tel que l'angle dont cette poulie tourne, est proportionnel à l'élévation du liquide dans le réservoir.

D'autre part, un crayon, disposé perpendiculairement à la surface du disque en papier, est maintenu horizontal à l'aide d'une autre chaîne, dont une des extrémités passe sur un petit galet et soutient un poids, tandis que l'autre extrémité est attachée à un autre corps pesant, qui descend d'un mouvement lent et uniforme.

Enfin, les choses sont combinées de façon que le crayon entraîné puisse s'avancer sur le disque de papier, dans le sens d'un rayon de la poulie circulaire et avec une vitesse de 5 millimètres par heure, qui est celle du corps pesant.

Il résulte de l'ensemble de ces dispositions que, tant qu'il ne pleut pas, le crayon avance simplement sur le disque en traçant une ligne droite, tandis que, dès qu'il pleut, ce même crayon, par suite de la rotation de la poulie, trace sur ce disque en papier un arc de cercle égal au déplacement angulaire du système et

proportionnel à la quantité d'eau qui a pénétré dans le réservoir. Il suffit donc, pour déterminer la hauteur d'eau tombée, de connaître le rapport des diamètres du réservoir et de l'entonnoir du pluviomètre. En donnant au réservoir un diamètre tel que la hauteur d'eau tombée dans le pluviomètre se trouve multipliée convenablement, les mouvements du flotteur et par suite ceux du disque seront rendus très-sensibles.

Système électro-magnétique : 1° Udométrographe à bascule. — L'udométrographe à bascule a été employé par Osler, MM. Breguet, Salleron, etc., aujourd'hui ce dernier constructeur enregistre électriquement les indications fournies par cet instrument, de la manière suivante :

La pluie qui tombe est amenée à l'aide d'un tube en caoutchouc dans un appareil placé dans le voisinage de l'enregistreur et qui se compose de deux petits réservoirs séparés par une cloison, et les deux récipients forment une seule pièce suspendue sur un axe horizontal, de telle sorte qu'il n'y a d'équilibre stable que lorsqu'un des réservoirs est relevé et l'autre abaissé.

Le récipient le plus élevé reçoit l'eau qui tombe dans le pluviomètre et, quand la charge est suffisante, la rotation a lieu et l'eau se déverse au dehors. Mais, en même temps que cette rotation s'effectue, une aiguille fixée sur l'axe de l'appareil décrit un arc de cercle et traverse le mercure d'une petite auge placée en dessous, aussitôt le courant se trouve fermé momentanément et l'électro-aimant propre au pluviomètre, fait marquer au style correspondant, un point sur l'enregistreur. A chaque mouvement de bascule de l'appareil, le même effet se reproduit. Chaque point ainsi marqué correspond à une hauteur d'eau déterminée d'avance et sa position sur la feuille d'enregistration indique l'heure à laquelle la précipitation aqueuse a eu lieu.

Dans le météorographe de l'école de Grignon, le poids d'eau nécessaire pour faire basculer l'appareil est de 20 grammes, ce qui, d'après la surface du pluviomètre, correspond à 1/2 millimètre de hauteur d'eau tombée.

2° *Udométrographe Bernois.* — Le météorographe Bernois, qui figurait également à l'Exposition universelle, renfermait un udométrographe construit sur un principe différent.

L'eau, recueillie dans un pluviomètre ordinaire, est conduite par un tube dans les augets postérieurs d'une petite roue hydraulique

et aussitôt que deux d'entre eux sont pleins d'eau, la roue tourne en faisant à peu près une demi-révolution, les augets se vident et ainsi de suite.

Le mouvement de rotation de cette roue est transmis à un axe horizontal qui attire à lui une bague munie d'une tige terminée par une pointe très-fine. La bague et la tige s'avancent horizontalement devant le papier vertical destiné à recevoir l'enregistrement et toutes les 10 minutes un courant électrique détermine un choc sur cette tige qui trace alors une piqûre sur le papier. Immédiatement après la bague et la tige sont ramenées à leur point de départ.

La position de la piqûre par rapport aux lignes horaires indique l'heure de la précipitation aqueuse ; quant à la quantité d'eau tombée, elle dépend de la distance de cette piqûre à une ligne fixe sur laquelle la pointe est ramenée toutes les 10 minutes :

Pluvioscope de M. Hervé-Mangon. — En 1860, M. Hervé-Mangon a imaginé un pluvioscope qui permet d'enregistrer l'heure et la durée de chaque pluie, de compter les gouttes d'eau tombées pendant une ondée, de les peser et de déterminer la direction de leur chute.

Cet instrument se compose d'une caisse circulaire portant une ouverture dirigée suivant un rayon du couvercle et au fond de laquelle on place préalablement un papier sensible. Cette caisse exécute d'un mouvement uniforme un tour entier en 24 heures. Le papier est trempé d'abord dans une dissolution de sulfate de fer ; une fois sec, on le frotte avec de la noix de galles en poudre très-fine, mélangée à de la sandaraque qui la fait adhérer au papier. Chaque goutte d'eau tombant sur ce papier y produit une tache circulaire parfaitement nette et d'un beau noir.

Les exemples qui précèdent suffisent pour donner une idée des principales dispositions adoptées dans la construction des udométrographes. Nous ne nous y arrêterons pas davantage,

Hygrométrographes.

Les hygrométrographes sont des instruments ayant pour objet l'enregistrement des variations du degré hygrométrique de l'air, aux divers instants de la journée.

Les indications du psychromètre électrique laissant beaucoup à

désirer et l'introduction de cet instrument dans les météorographes compliquant beaucoup les appareils, les météorologistes préfèrent approprier à ce genre d'enregistrement l'hygromètre à cheveu de Saussure qui, une fois gradué par comparaison avec un bon hygromètre condenseur, peut fournir d'excellentes indications.

1° A Munich, les mouvements de l'aiguille de l'hygromètre à cheveu sont transmis à un levier dont la plus grande branche est armée d'une pointe, qui trace une couche sur un cylindre enduit préalablement d'une couche de cire et de noir de fumée ;

2° M. Grosclaude, de Genève, a appliqué son système d'enregistrement à l'hygromètre de de Saussure ;

3° Dès 1857, M. Régnard a proposé d'employer un hygrométrographe ainsi composé : Deux électro-aimants armés de cliquets, communiquant chacun avec le pôle positif d'une pile, tandis que le pôle négatif est relié à l'axe de l'aiguille d'un hygromètre à cheveu. Suivant la direction, à droite ou à gauche, que prend cette aiguille par suite de l'action hygrométrique, le courant passe par l'un ou l'autre des deux électro-aimants et le cliquet propre à l'électro qui fonctionne, par suite de l'attraction qu'il éprouve, fait tourner dans le même sens que l'aiguille une roue dentée qui engrène elle-même avec une crémaillère armée d'un style enregistreur. L'enregistrement a lieu sur un cylindre animé d'un mouvement de rotation uniforme ;

4° A l'observatoire de Berne, M. Wild emploie également un hygromètre de Saussure gradué par comparaison avec un hygromètre condenseur, de manière à pouvoir déduire immédiatement l'humidité relative des indications fournies par l'instrument. Une tige de marquation semblable à celles qui accompagnent les divers instruments météorologiques qui fonctionnent dans cet observatoire, est fixée sur la poulie à double gorge de l'hygromètre et les diverses positions de la pointe sont enregistrées sous forme de piqûres à l'aide du mécanisme électro-magnétique précédemment décrit.

IV

DES PRINCIPAUX MÉTÉOROGRAPHES FONCTIONNANT EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER.

Dès 1852, à l'observatoire de Bruxelles, on enregistrait par le système exclusivement mécanique les indications fournies par un anémomètre, un baromètre, un thermomètre et un pluviomètre.

En 1853, M. Salleron construisait pour l'observatoire de Lisbonne, un baromètre, un thermomètre et un psychromètre à enregistrement photographique, un anémomètre et un pluviomètre à enregistrement mécanique.

En 1857, le même constructeur installait au ministère de la marine la même série d'instruments, mais leurs indications étaient enregistrées électriquement sur une même feuille de papier.

A Grenwich, le système photographique est appliqué à tous les instruments, sauf l'anémographe ; à Kew, on emploie le même système et l'installation des instruments due à M. Glaisher est, dit-on, un véritable modèle à suivre.

L'Exposition universelle de 1867 nous a montré plusieurs météorographes.

Le plus colossal est celui de Rome, exposé par le P. Secchi et dont les divers modes d'enregistrement appartiennent tout à la fois aux systèmes mécanique et électro-magnétique.

Le météorographe de l'école de Grignon comprend actuellement un baromètre (enregistrement mécanique) un anémomètre et un pluviomètre (enregistrement électro-magnétique) mais qui sera complété plus tard par un thermomètre métallique et un hygromètre de de Saussure dont les indications seront enregistrées mécaniquement.

L'observatoire de Modène possède un météorographe semblable à celui de Grignon.

A Berne, le météorographe de l'observatoire renferme toute la série des instruments météorologiques, le même système (celui de M. Hipp de Neufchâtel) détermine toutes les enregistrations, sauf celle de la direction du vent. (Système mécanique.)

Enfin, beaucoup d'autres observatoires, en Allemagne, en Russie, en Amérique, possèdent des météorographes constitués par la réunion des divers instruments enregistreurs, décrits dans le chapitre précédent.

Malgré les avantages incontestables que présente l'emploi des météorographes, ces instruments sont encore peu répandus, ce qu'il faut attribuer à leur prix élevé. En effet, le moindre météorographe coûte environ 2,000 fr. et une telle acquisition ne saurait être faite que par des établissements disposant de ressources spéciales.

Cependant, en présence des lacunes que le système actuel d'observation est resté impuissant à combler, il est naturel de se demander s'il ne serait pas préférable de restreindre le nombre des stations météorologiques et de doter suffisamment celles que l'on conserverait de manière à permettre l'installation des instruments enregistreurs les plus parfaits.

Si, de plus, on pouvait adopter dans ce petit nombre d'observatoires, une même série d'instruments et un mode uniforme d'enregistrement, il nous semble que les observations recueillies dans ces conditions se prêteraient plus facilement à un examen général et à la recherche des grandes lois qui régissent les phénomènes atmosphériques.

L'adoption de ce système n'empêcherait point les météorologistes de se livrer à des observations particulières toujours utiles pour arriver à la connaissance du climat de telle ou telle localité, mais les savants, qui se placent à un point de vue plus général, seraient délivrés d'un travail souvent impossible et presque toujours stérile, celui du dépouillement des innombrables observations qui s'impriment chaque année dans tous les pays du monde civilisé.

A. Pouriau.

L'article qui suit eût été mieux placé dans la première partie de cet ouvrage, réservée aux *sciences pures;* le désir de laisser à notre collaborateur, M. A. Guillemin, le loisir de profiter de tous les documents qui se produisent peu à peu dans ce singulier procès, nous a décidé à placer *Newton et Pascal* dans la partie du volume qui s'imprimait la dernière.

VI

NEWTON ET PASCAL

ET LA DÉCOUVERTE DE L'ATTRACTION

I

Une émotion, justifiée sans nul doute par l'intérêt historique et scientifique de la discussion qui l'a causée, a fait sortir, cette année, l'Académie des sciences de son calme habituel. Cela n'étonnera personne, si l'on songe qu'il s'agissait de la découverte capitale des temps modernes, celle de l'attraction, et que les noms de Newton et de Pascal étaient en jeu[1].

Dans la séance du 15 juillet dernier, M. Chasles a fait part à ses confrères de quelques lettres ou notes inédites de Pascal; les premières adressées à Boyle, dans le courant des années 1652, 1654 et 1655, les autres sans date et écrites sur des feuillets détachés, toutes ayant rapport à l'attraction. Il ne s'agit pas, d'ailleurs, dans ces documents précieux, d'aperçus vagues et généraux sur la force qui régit les mouvements des corps célestes; les lois de son action en raison directe des masses et en raison inverse du carré de la distance s'y trouvent formellement énoncées; de plus, Pascal identifie la gravité des corps qui tombent à la surface de la Terre, à la gravité des planètes sur le Soleil. Enfin, tirant de ces principes une conséquence qui, aujourd'hui encore, paraît aux personnes étrangères aux théories astronomiques, l'une des plus audacieuses, sinon des plus téméraires conquêtes de l'esprit humain, il calcule approximativement les quantités de matière formant les masses du Soleil, de la Terre, de Jupiter et de Saturne.

Dans cette première séance, le nom de Newton ne fut pas pro-

[1] Cette discussion, au moment où nous écrivons, n'est point encore terminée. Comme elle est d'ailleurs trop importante pour que l'*Annuaire* la passe sous silence, et que d'autre part l'absence de conclusions positives ne permet pas de la résumer, nous nous bornons à donner ici une revue des principales phases par lesquelles elle a déjà passé, en conservant aux notes qui leur correspondent la forme même où elles ont été écrites.

noncé. Mais, il était clair pour tout le monde que si la gloire du grand géomètre anglais n'en était pas diminuée, puisque les écrits de Pascal étaient restés inédits, du moins, son nom ne serait plus le seul que l'histoire des sciences inscrirait en regard de la loi de l'attraction.

Déjà, à la vérité, Copernic lui-même, et, à sa suite, un grand nombre de savants illustres, Tycho-Brahé, Kepler, Descartes, Hooke, Wren, etc., avaient admis le principe d'une attraction entre les corps du système solaire; mais aucun n'en avait formulé les lois, ni surtout n'en avait donné de démonstration rigoureuse. Ce n'est qu'en 1666 que Newton conçut l'idée fondamentale de la gravitation; ce n'est qu'en 1687 que fut publié l'immortel ouvrage des *Principes mathématiques*, préparé par treize années de profondes méditations et composé dans les deux années 1684 et 1685[1].

On voit que les documents publiés par M. Chasles dans les *Comptes rendus* de l'Académie sont antérieurs de beaucoup et à la première élaboration des idées de Newton et à l'édification du monument qui sert de base à la mécanique céleste.

Mais, hâtons-nous de dire que, dès la séance suivante, celle du 22 juillet dernier, les communications de M. Chasles suscitèrent des doutes dans l'esprit de quelques-uns de ses confrères. M. Duhamel, sans s'arrêter aux énoncés précis de la loi de gravitation, tels qu'ils sont donnés dans les écrits de Pascal, ni aux nombres assignés aux masses planétaires, ne comprend pas comment Pascal a pu, à l'époque où il écrivait, se former une idée nette de la loi de l'attraction : les dimensions du méridien terrestre n'étaient pas encore déterminées avec une suffisante précision ; le théorème fondamental qui prouve que la Terre attire les points à sa surface comme si toute sa masse était réunie à son centre , n'était point encore démontré; enfin, l'opinion du savant géomètre et académicien est que Pascal avait d'autres raisons à l'appui des idées qu'il émet sur l'attraction, et alors il aurait dû les mentionner, ou bien il n'avait sur cette théorie que des aperçus vagues dont il aurait lui-même senti l'insuffisance, puisqu'il n'a rien publié sur ce sujet. « Je résumerai, dit-il, mon opinion, en disant qu'en admettant l'au-

[1] *Les Fondateurs de l'astronomie moderne*, par J. Bertrand, de l'Institut, p. 296.

thenticité des lettres déposées par M. Chasles, et en supposant même qu'elles eussent été publiées avant le livre des *Principes*, elles ne donneraient pas le droit de dire que Pascal a établi le premier la loi de la gravitation universelle. *La gloire en restera toujours à Newton.* »

M. Chasles combattit cette appréciation qui, en même temps qu'elle réduisait à des proportions beaucoup plus modestes la part de Pascal dans la grande découverte, laissait planer des doutes sur l'authenticité des documents publiés. Il inséra dans les *Comptes rendus* une cinquantaine de nouvelles notes manuscrites et isolées de Pascal sur le même sujet, et s'éleva avec force, dans la séance suivante de l'Académie, contre tout soupçon qui pourrait s'élever sur l'authenticité des pièces produites et publiées. Toutes, suivant lui, sont bien de la main de Pascal, ainsi que d'autres fort nombreuses qui sont en la posseesion du savant géomètre; parmi ces dernières, M. Chasles a inséré encore dans les *Comptes rendus* une partie de la correspondance qui paraît s'être établie entre Newton et Pascal, entre 1654 et 1661.

Sur ces entrefaites M. Faugère, bien connu dans le monde des lettres et de l'érudition par ses travaux sur les *Pensées* de Pascal, ayant eu connaissance des publications que nous venons de mentionner, eut le désir de vérifier l'écriture des manuscrits, et, grâce à la complaisante courtoisie de M. Chasles, il put les examiner à loisir. « Il résulte pour moi, écrit-il à l'Académie, et de ma première impression et de l'examen attentif auquel je me suis livré, que la signature mise au bas de ces documents n'est pas celle de Pascal, et qu'ils sont d'une autre écriture que la sienne. Ma conviction à cet égard est tellement complète, que je considère comme une véritable obligation d'en instruire l'Académie. »

Serait-il vrai, comme l'affirme un autre correspondant, M. Bénard, que les documents produits par M. Chasles « sont *certainement* fabriqués à plaisir, et même par un falsificateur assez malhabile? » que les lettres attribuées à Pascal ont une origine anglaise manifeste? etc., etc. Nous ne savons. Le procès est pendant, une commission a été nommée, à l'Académie des sciences, pour le juger, parfaitement compétente pour décider du point scientifique, mais qui ferait bien, à notre humble avis, de s'adjoindre quelques érudits pour trancher la question d'authenticité des pièces. Il ne s'agit pas ici d'une question purement littéraire : l'histoire de la

science, celle d'une théorie vraiment capitale, qui a transformé l'astronomie et les sciences physiques, se trouve intéressée à ce débat, dont nous n'avons pu, bien entendu, qu'esquisser la physionomie dans cette courte note.

II

La discussion qui s'est élevée à l'Académie des sciences au sujet de Notes et de Lettres inédites de Pascal n'a point encore abouti : de nouveaux incidents ont signalé le débat qui menace de prendre des proportions vraiment singulières.

Nous avons mentionné l'opinion, si autorisée en ces matières, de l'éditeur des *Pensées*, M. P. Faugère. Ce savant et érudit écrivain, appelé devant la commission nommée par l'Académie, a persisté dans son premier jugement : « Il n'a reconnu comme étant soit de Pascal, soit de madame Périer, soit de Jacqueline Pascal, aucune des pièces qui lui ont été présentées, et en outre, il regarde ces pièces comme étant toutes de la même main. » Les raisons sur lesquelles il se fonde pour formuler cette sentence si catégorique ont été exposées par écrit et remises à l'Académie.

Mais elles n'ont pas suffi à convaincre M. Chasles, qui ne peut se résoudre à considérer comme étant l'œuvre d'un faussaire une telle multiplicité de documents. L'honorable académicien possède, en effet, une quantité prodigieuse de lettres et de manuscrits se rapportant presque tous en quelque point soit à la question de la découverte de l'attraction, pour laquelle Newton avait été devancé par Pascal, soit aux relations prétendues qui auraient existé entre ces deux grands hommes. Des lettres signées de Hobbes, de Mariotte, de Clerselier, de Montesquieu, de Desmaizeaux, de Saint-Évremond, de Louis Racine, de Newton, prouveraient, si leur authenticité était jamais démontrée, que c'est dans les écrits de Pascal que le grand géomètre anglais aurait puisé les idées premières des grandes découvertes qui ont immortalisé son nom. Évidemment Newton est présenté sous un jour odieux dans ces documents, dont, heureusement pour l'honneur des sciences, l'authenticité est loin d'être prouvée. Nous comprenons que M. Duhamel ait cru de son devoir de protester. Il a fait remarquer, en outre, que les découvertes mathématiques de Newton se rappor-

tent à des théories étrangères aux travaux connus de Pascal. « Newton, dit-il, devait beaucoup certainement à ses devanciers ; mais c'est Descartes et Fermat qu'il aurait fallu désigner, et non Pascal. Ces deux grands génies ont fait faire un pas immense à la science, soit par leurs écrits, soit par leurs controverses. Le monde entier en a profité, et Newton comme tout le monde. Un homme de génie prend la science où l'ont portée les hommes de génie que l'ont précédé : ce serait par trop fort de lui en faire un reproche. »

Un illustre physicien anglais, associé étranger de l'Académie et biographe de Newton, sir David Brewster, révoque en doute les relations et la correspondance de Newton et de Pascal. Se référant aux lettres datées de 1654, et signées de la mère de Newton, miss Anna Ayscough et de Newton lui-même, il assure que ce dernier avait à peine quatre ans quand sa mère cessa de porter le nom que nous venons de citer. A l'époque indiquée, elle aurait dû signer Hannah Smith, son nouveau nom de femme. En 1654, Newton avait onze ans, et, à cet âge, la correspondance mise au jour par M. Chasles lui fait traiter du *calcul infinitésimal*, du *système des tourbillons*, de l'*équilibre des fluides* et de la *gravité*. « C'est en 1658, dit sir D. Brewster, qu'il fit sa première expérience scientifique, et ce n'est qu'en 1661 qu'il aborda quelques-unes des études qui l'ont rendu si célèbre. »

Il faut avouer toutefois que, si les pièces produites par M. Chasles sont l'œuvre d'un faussaire, c'est sur une échelle vraiment formidable que ce mystificateur inconnu a exercé sa coupable industrie, et l'on ne peut nier qu'il ait fait preuve d'une remarquable habileté. Ce n'est pas peu de chose, en effet, que d'imiter, de façon à tromper des hommes du mérite et de l'érudition de M. Chasles, le langage des savants d'il y a deux siècles, et d'y traiter de questions scientifiques dans les termes mêmes que l'état de la science à cette époque peut rendre vraisemblables.

A la vérité, nous avons trouvé çà et là dans les lettres prétendues de Pascal des expressions qui sentent d'une lieue le dix-neuvième siècle, et les lettres attribuées à Montesquieu nous semblent d'un style bien pesant pour l'auteur des *Lettres persanes*. Mais, comme nous n'avons pas qualité pour décider de ces points délicats, nous nous bornerons à résumer pour les lecteurs de l'*Annuaire scientifique* le compte rendu de ce procès curieux.

III

Nous avions l'espoir de pouvoir faire connaître aux lecteurs de l'*Annuaire* l'issue de l'intéressant débat qui s'est élevé, au sein de l'Académie, entre M. Chasles et divers autres savants, au sujet de relations prétendues ayant existé entre Pascal et Newton. D'une volumineuse correspondance inédite, entre ces deux grands hommes et divers littérateurs ou savants du dix-septième siècle, il résulterait que la découverte de la gravitation, attribuée jusqu'ici à Newton, aurait pour premier et véritable auteur l'écrivain à qui l'on doit les *Provinciales* et les *Pensées*, et dont le génie mathématique est connu de tout le monde.

La révélation de M. Chasles ne pouvait manquer de trouver des contradicteurs. Elle en a eu, en effet, tant de ce côté-ci que de l'autre côté de la Manche. Nous avons fait connaître leurs principaux arguments qui sont de deux ordres bien distincts : les uns sont en effet puisés dans les considérations purement scientifiques ; les autres révoquent en doute l'authenticité, matérielle pour ainsi dire, des documents mis au jour.

Ce qui donne à la discussion une physionomie toute particulière et menace de la prolonger indéfiniment, c'est que M. Chasles, en tacticien habile et d'ailleurs parfaitement loyal, tenait en réserve, lors de ses communications premières, les plus intéressantes des pièces inédites qui sont en sa possession, ses armes les plus redoutables. A mesure donc que ses adversaires s'attachaient à combattre ses premières assertions, le savant géomètre opposait à leurs attaques de nouveaux et nombreux documents ; puis, retranché derrière une triple ligne de travaux de défense, il les accablait, sous la forme d'une argumentation vive et serrée, d'une grêle de projectiles. Essayons de résumer, dans ce qu'elle a d'essentiel, cette nouvelle phase du procès pendant.

Disons tout d'abord qu'au point de vue de la vérification des écritures, et de la démonstration soit de l'authenticité, soit de la fausseté des pièces mises au jour, rien de décisif n'a été prouvé de part ni d'autre. Ces pièces sont si nombreuses, qu'un examen par experts compétents ne peut se faire en un jour. On comprend qu'il ne suffirait point de prouver que telle ou telle lettre est

fausse, il faudrait démontrer, en outre, que toutes le sont, du moins toutes celles qui touchent au point capital, c'est-à-dire qui sont de nature à établir que des relations scientifiques étendues ont existé réellement entre Newton et Pascal. Voilà pour les adversaires de M. Chasles. Pour ce dernier, toutefois, la tâche serait moins rude, puisqu'au contraire la constatation de l'authenticité d'une seule des pièces dont nous venons de parler suffirait à la justification de sa thèse.

Sir David Brewster, à qui M. Chasles avait envoyé quatre notes portant quatre signatures différentes qu'aurait eues Newton, les fit confronter avec les originaux d'un grand nombre de lettres de Newton qui se trouvent, soit en la possession du comte de Portsmouth et du comte de Macclesfield, soit parmi les manuscrits du British Museum. Dans l'opinion de ces honorables gentlemen, de sir Frédéric Madden, conservateur au département des manuscrits du British Museum, et de sir D. Brewster lui-même, il n'y a pas la *moindre ressemblance entre les pièces forgées et les lettres authentiques*. A ces assertions tranchées, M. Chasles répond en discutant les motifs de dissemblance invoqués par ces contradicteurs, et en prouvant que ces motifs ne sont pas suffisants pour faire douter de l'authenticité des pièces en question. Comment, entre des affirmations aussi contradictoires, démêler la part du vrai et la part du faux? Il est évident qu'une enquête est nécessaire. Elle a été à plusieurs reprises annoncée; mais, jusqu'ici, nous ne voyons y prenant part que l'infatigable M. Chasles, M. Faugère et les savants anglais que nous avons cités ; et, comme les uns et les autres se bornent à échanger des affirmations et des négations à distance, la question de l'authenticité ou de la fausseté des documents mis au jour ne pouvait évidemment être résolue.

En somme, c'est surtout le nombre considérable des notes, lettres, que M. Chasles tire de sa collection au fur et à mesure des besoins de son argumentation, qui forme, à ses yeux, la preuve la plus convaincante de leur authenticité. Nous avons déjà cité, outre les pièces émanées de Pascal et de Newton, celles d'un grand nombre de littérateurs et de savants du dix-septième siècle; mais, depuis, la liste a grossi démesurément. Ce sont de curieuses lettres adressées à Newton par le roi Jacques II, pendant le séjour de ce monarque à Saint-Germain, des lettres de Newton, parmi

lesquelles une est adressée à Louis XIV, des lettres de Galilée à Pascal, d'Huygens à Newton, de Louis XIV à Huygens et à plusieurs autres personnages. Si le temps et la place ne nous faisaient défaut, nous raconterions le curieux épisode où l'on voit deux monarques, le roi Jacques II et Louis XIV, que sir D. Brewster nomme plaisammment « ce vice-gérant de Dieu sur la terre, » daigner prendre part à une querelle entre savants, et en faire, pour ainsi dire, une affaire d'État. Ce qui est singulier, et ce qui légitime un peu les doutes des témoins impartiaux de cette discussion, c'est qu'aucune trace de cette intervention royale ne soit restée dans les Mémoires d'une époque où les moindres faits et gestes du fétiche étaient solennellement consignés par les historiographes pour être transmis à la postérité.

Arrivons maintenant au côté véritablement scientifique de ce débat, à celui qui présente l'intérêt le plus réel, puisqu'il est relatif à l'histoire d'une de nos plus grandes découvertes dans les sciences naturelles, celle de la loi la plus générale qui régisse les phénomènes de l'univers visible, la loi de la gravitation.

La question posée est celle-ci :

Est-il vrai, est-il possible que Pascal ait devancé Newton dans la découverte de cette loi fondamentale, et que ce dernier ait puisé dans les écrits de l'auteur des *Pensées*, dans sa correspondance avec lui, tous les éléments de son œuvre capitale, les *Principes mathématiques* ? Que Pascal se soit un instant arrêté devant cette idée de l'attraction des corps célestes pour expliquer leurs mouvements, il n'y aurait rien là que d'assez probable, et il faudrait joindre son nom à celui des Copernic, des Kepler, des Hooke, qui tous ont entrevu ce que Newton a eu la gloire, incontestée jusqu'ici, de démontrer de la façon la plus rigoureuse. Mais est-il allé plus loin ? a-t-il réellement formulé et démontré la loi ? est-ce à lui, enfin, dont le génie mathématique eût tant fait pour la science, s'il n'eût été si déplorablement détourné de sa voie par un mysticisme voisin de la folie, que doit revenir l'immortel honneur attribué jusqu'ici à Newton.

En examinant les notes exhumées par M. Chasles, il en est une qui ne permettrait guère de douter, si son authenticité était de tout point prouvée. Nous voulons parler de celle où Pascal aurait donné en termes précis les masses des principaux corps du système solaire, leur densité et la force de la gravité à la surface de cha-

cun d'eux. D'après cette note, la masse du Soleil étant 1, celles de Jupiter, de Saturne et de la Terre sont représentées par les fractions $\frac{1}{1067}$, $\frac{1}{3021}$, $\frac{1}{169282}$.

Ces nombres précis, Pascal les aurait calculés au plus tard en 1662, l'année de sa mort.

D'après une première conjecture de M. Chasles, la note qui contient ces nombres aurait été l'une de celles adressées à Boyle en 1652. Or, il est aisé de comprendre que si la note est authentique, une telle date est impossible. En effet, la masse de Saturne n'a pu être calculée qu'en se basant sur les observations du premier satellite découvert par Huygens. Or, ce satellite a été vu pour la première fois le 25 mars 1655, et les premières tables, naturellement très-imparfaites encore, n'ont pu être calculées qu'un certain temps après la découverte de l'astre. Aussi, l'honorable académicien, abandonnant sa première hypothèse, répondit-il à cette objection, posée par M. Faye, que la note en question est d'une date postérieure à celle qu'il supposait d'abord, étant probablement comprise entre 1654 et 1656. Le directeur de l'observatoire de Glasgow, M. Grant, n'a pas laissé tomber l'objection dont nous parlons ici ; il l'a même étendue à tous les autres nombres attribués à Pascal. Il fait remarquer d'abord que ces nombres, totalement différents de ceux établis par Newton dans sa première édition des *Principes* (1687), se trouvent être rigoureusement les mêmes que ceux de la troisième édition, publiée en 1726, et que Newton a déduits des observations de Pound, de Bradley et de Cassini, observations bien postérieures à la mort de Pascal.

Ces objections sont capitales, et l'on n'y peut répondre que par deux hypothèses qui nous semblent bien invraisemblables et dont il est bien difficile, en tout cas, de démontrer l'exactitude. Il faut admettre que Pascal ait eu à sa disposition, dès 1660 environ, outre les tables de Saturne qui venaient d'être publiées par Huygens, des valeurs précises de divers éléments, tels que la parallaxe solaire, les périodes et les élongations maximum des satellites de Jupiter, et les diamètres apparents du Soleil, de Jupiter et de Saturne. C'est, en effet, ce que soutient M. Chasles, et c'est la raison pour laquelle il a notamment exhumé des lettres de Galilée à Pascal. Mais il est difficile de croire que les observateurs antérieurs à la seconde moitié du dix-septième siècle aient pu obtenir des déterminations de ces éléments égales en précision à celles dont

Newton pouvait disposer en 1726. Il faudrait admettre, en outre, que l'auteur des *Principes* eût préféré copier dans les notes de Pascal des nombres qu'il lui était si facile d'obtenir en usant des récents travaux des Cassini, des Pound et des Bradley, quand, vingt-cinq ans après la mort de celui qu'il aurait dépouillé, il s'était abstenu de ce plagiat.

Pour M. Grant, comme pour sir D. Brewster, « il n'y a qu'une solution possible de ces difficultés, et c'est la suivante : la masse entière des documents communiqués à l'Académie des sciences par M. Chasles est une pure imposture. »

Cette conclusion nous paraît au moins exagérée ; du moins elle n'a pour elle que des probabilités, pas de preuves vraiment rigoureuses. Il est possible que, parmi les pièces nombreuses en partie publiées par M. Chasles, un certain nombre soient authentiques, que le premier possesseur, dans le désir d'accroître le gain qu'il espérait en tirer, en ait fabriqué d'autres, et que là soit la cause des discussions qui se sont élevées et qui ne paraissent pas près de finir : cette dernière opinion a été soutenue par M. Le Verrier, qui, comme on le voit, ne risquait pas de se compromettre. Rien ne prouve donc encore avec certitude que la thèse soutenue avec tant de persistance par le savant académicien ne soit pas elle-même la seule admissible. La question est toujours pendante, bien que, de part et d'autre, on ait fait assaut d'arguments. Nous n'avons pu rapporter ici que les principaux ; mais nous avouons que ceux de M. Grant sont ceux qui ont fait sur nous le plus d'impression ; les réponses qu'y a faites M. Chasles ne nous ont pas semblé concluantes. En présentant ce court résumé, il nous est donc absolument impossible de conclure nous-même ; de sorte que notre rôle se borne forcément à donner une idée de la discussion et de l'intérêt qu'elle présente : tous ceux qui voudront se former une opinion devront avoir recours à toutes les pièces du procès.

AMÉDÉE GUILLEMIN.

P. S. Nous ne pouvons moins faire, en corrigeant les épreuves de ces notes détachées, que de compléter le récit des nouvelles péripéties que cette longue discussion vient, tout récemment, de subir encore.

M. Babinet a essayé de trancher la question, en établissant en

fait que la loi de l'attraction n'a été rigoureusement découverte qu'en 1670, quand Newton, qui l'avait entrevue une première fois, l'eut reprise et vérifiée décidément à l'aide de la mesure de l'arc de méridien donnée par Picard. L'honorable académicien a parfaitement raison, s'il se place au point de vue généralement adopté par les savants, et selon lequel une découverte est légitimement attribuée à l'auteur qui l'a publiée le premier. Mais, ce n'est point là ce qui est en question ; ce que prétend M. Chasles, ce qu'il veut mettre en évidence à l'aide des ses documents si nombreux, c'est que, premièrement, il a existé entre Newton et Pascal une correspondance suivie ; c'est, en outre, que Newton a puisé dans cette correspondance non-seulement l'idée, mais la démonstration mathématique et la vérification par les observations astronomiques de la loi de la gravitation et de ses conséquences les plus importantes.

Ce sont tous ces points que nient ses adversaires. Selon eux, il n'est pas vrai que Newton ait eu de correspondance scientifique avec Pascal ; il n'est pas vrai qu'il soit le plagiaire de ce grand homme. Et pour le prouver, ils s'efforcent de faire voir, soit par l'examen des documents, soit par des arguments tirés de l'histoire de la science, que tous ces documents, ou du moins les plus essentiels, sont apocryphes, et ont été fabriqués à plaisir par un ou plusieurs imposteurs. Sir David Brewster, par exemple, attribue à Desmaizeaux cette fabrication ; mais comme il ne suffit pas d'affirmer pour démontrer, M. Chasles attend avec juste raison des preuves réelles de la fausseté des documents qu'il possède.

M. Grant, revenant à la charge, donne à l'appui de sa thèse primitive les raisons suivantes. Selon lui, les lettres de Galilée à Pascal sont fausses, et pour le prouver, il objecte comme un fait parfaitement établi, que dès 1637, Galilée était atteint d'une maladie des yeux, qui produisit une cécité complète jusqu'à sa mort, arrivée en 1642. Pascal n'ayant pas eu d'instruments d'observation propres à faire les déterminations nécessaires au calcul des masses et autres éléments cités, les notes et lettres qui les contiennent sont fausses. C'est sur ce point que le débat a porté en dernier lieu. Plusieurs savants, le P. Secchi, M. Govi (de Turin) ont appuyé les assertions de M. Grant ; Mais M. Chasles répond en publiant de nouvelles lettres, tandis que MM. Harting et Th. H. Martin s'efforcent de démontrer la fausseté de toutes les pièces, tant des premières que des nouvelles.

La discussion s'éternise donc, sans épuiser le courage de l'illustre géomètre français, qui se propose de publier incessamment toutes les pièces du procès. Plusieurs académiciens, notamment M. Balard, ont essayé d'y mettre un terme, en conjurant l'Académie de fermer les *Comptes rendus* à toutes les objections nouvelles ; mais cette proposition n'a point été prise en considération, ce dont nous ne pouvons nous empêcher de féliciter l'Académie, qu'on eût, sans cela, accusée sans doute de vouloir étouffer la lumière. Les choses en sont là ; et, au train dont elles vont, il ne nous semble pas qu'on ait de sitôt une solution décisive.

A. G.

VII

NOTICES BIBLIOGRAPHIQUES

HELMHOLTZ, OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE

Traduite par MM. Émile Javal et N.-Th. Klein.

L'année qui vient de s'écouler a vu paraître la dernière partie d'un ouvrage destiné a faire époque dans la science. Il y a plus de dix ans, M. Helmholtz donnait la première livraison de son *Optique physiologique*, et s'il a fait attendre si longtemps la fin de ce livre, c'est moins à cause des travaux qui sont venus attirer ailleurs son attention que parce que la dernière partie du livre exigeait de longues méditations, de nombreuses expériences et des lectures interminables. Par une bonne fortune rare, la traduction de l'*Optique physiologique* ne s'est pas fait attendre; MM. Javal et Klein nous l'ont donnée peu de mois après la mise en vente de l'ouvrage allemand.

Nous voyons les objets extérieurs par l'intermédiaire de la lumière qu'ils émettent, et qui vient pénétrer dans l'œil. Cette lumière frappe la rétine, partie impressionnable de notre système

[1] 1 vol. in-8°. Masson, 1867.

nerveux, et y excite des sensations qui, transmises au cerveau par le nerf optique, nous permettent de nous représenter l'existence d'objets déterminés.

L'*étude des perceptions visuelles*, ou *optique physiologique*, se divise donc en trois parties :

1° *L'étude du trajet de la lumière dans l'œil;*

2° *L'étude des sensations du nerf optique ;*

3° *L'étude de l'interprétation des sensations visuelles.*

Nous dirons successivement quelques mots sur chacune de ces questions.

Le trajet de la lumière dans l'œil a été étudié pour la première fois par Kepler (1604) qui exposa en même temps la théorie de l'action des bésicles[1]. Depuis cette époque, notre connaissance de la marche des rayons dans l'œil a fait un grand progrès, particulièrement entre les mains de Listing (1851) qui appliqua aux milieux de l'œil les théories de Gauss sur les lentilles. Toute cette étude de l'optique de l'œil est traitée en grand détail dans la première partie du livre de M. Helmholtz, dont les déterminations ophthalmométriques sont aussi remarquables par leur précision que par le procédé de mensuration créé à cette occasion. Ce sont les mensurations du rayon de courbure de la cornée, faites au moyen de l'ophthalmomètre de Helmholtz, qui ont été le point de départ de l'étude de cette asymétrie des surfaces réfringentes de l'œil, connue sous le nom d'astigmatisme.

La première partie de l'*Optique physiologique* offre encore des paragraphes intéressants sur le mécanisme de l'accommodation[2], la dispersion des couleurs et l'aberration chromatique de l'œil, l'ophthalmoscopie. Ces différents sujets sont traités en grand détail; qu'il suffise ici de dire que le mécanisme de l'accommodation a été mis en lumière en grande partie par les recherches de l'auteur. Il est admis maintenant par tout le monde, conformément aux résultats de Th. Young, que l'accommodation repose sur une déformation du cristallin; cela a été démontré avec une évidence nouvelle en même temps par Cramer et par Helmholtz; mais

[1] *Paralipomena ad Vitellionem.*

[2] L'accommodation est la déformation de l'œil par suite de laquelle nous pouvons voir distinctement des objets situés à des distances différentes.

notre auteur a fait faire un pas de plus à la question, en donnant une idée nette du mécanisme par lequel paraît se produire la déformation de la lentille intra-oculaire.

Quant à l'ophthalmoscopie, ce procédé d'investigation destiné à examiner la rétine et la choroïde de l'œil vivant, chacun sait que Helmholtz l'a créée de toutes pièces (1851), et actuellement encore il n'existe point de théorie plus complète de l'ophthalmoscope que celle développée au paragraphe 16 du livre que nous analysons.

Dans la *deuxième partie*, celle consacrée aux *sensations* visuelles, les chapitres relatifs aux couleurs ont particulièrement attiré notre attention. Suivant Yung et Helmholtz, les éléments excitables de la rétine sont de trois sortes, et, lorsque de la lumière blanche vient les frapper, elles donnent respectivement la sensation du rouge, du vert et du violet, La distinction entre ces diverses fibres n'est point absolue, et l'on est obligé d'admettre que les fibres d'une certaine espèce sont susceptibles d'être excitées, faiblement il est vrai, par tous les rayons du spectre. Le mélange, en proportions convenables, des trois couleurs complémentaires, rouge, vert et violet, pouvant reproduire toutes les teintes du spectre, on voit aisément comment s'effectue la perception des couleurs. Les phénomènes de contraste, successifs ou simultanés, s'expliquent aussi d'une manière fort nette en faisant intervenir la fatigue qui résulte, pour l'une des séries de fibres, de la vision prolongée d'un objet coloré et vivement éclairé. Parmi les preuves dont Helmholtz cherche à fortifier l'hypothèse d'Yung, nous ne pouvons négliger l'analogie qu'elle crée entre les phénomènes de la perception des couleurs et ceux de la perception du son à l'aide des fibres de Corti. Nous avons dejà dit quelques mots de cette dernière question à propos du *timbre des sons*, et nous y reviendrons (*Annuaire de* 1866).

La *troisième partie* de l'*Optique physiologique* est la plus intéressante pour la généralité des lecteurs, et elle remplit la moitié du volume. Avec une délicatesse et une précision de jugement très-remarquable, l'auteur insiste sur la différence entre les *sensations* et les *perceptions*. Les sensations sont les actions des objets extérieurs sur les organes des sens ; elles peuvent exis-

ter sans contribuer à faire naître en nous la représentation d'un objet extérieur, tandis que les perceptions sont toujours le résultat d'un raisonnement, conscient ou non. M. Helmholtz étudie avec grand soin l'influence de l'habitude sur la manière dont nous interprétons nos sensations, ce qui l'amène à expliquer un grand nombre d'illusions des sens ; il montre comment, parmi nos sensations, nous ne portons notre attention que sur celles qui répondent à des objets extérieurs réels, négligeant les sensations subjectives autant que cela nous est possible ; puis vient une analyse fort utile de la manière dont nous nous comportons en présence de sensations complexes et qui trouve son application dans la théorie du timbre des sons.

La question de la loi des mouvements des yeux a reçu tous les développements mathématiques nécessaires : ces études s'adressent à un nombre restreint de lecteurs. Au contraire, la question de la vision binoculaire du relief, qui fait l'objet de plusieurs paragraphes très-importants, présente un grand intérêt, augmenté encore par la vivacité des discussions qui se sont élevées, en Allemagne surtout, après la découverte du stéréoscope par Wheastone. La perception du relief tient-elle à une disposition innée de l'organe, ou faut-il en attribuer la production à l'expérience? C'est cette dernière opinion qui a prévalu dans l'esprit de notre auteur, et il la développe avec une rigueur de déduction à laquelle il est difficile de résister.

On le voit, le livre dont nous venons de donner une idée touche à une foule de sujets, et il n'a pu être écrit que par un savant à la fois mathématicien exercé, physicien habile, physiologiste et philosophe. Parmi les lecteurs de l'*Optique physiologique*, tous ne réuniront pas des connaissances aussi variées que celle de Helmholtz : l'un manquera de connaissances mathématiques, l'autre ne se rendra pas bien compte de certaines expériences, un troisième ne saura pas apprécier les considérations relatives à l'art de la peinture ; cependant il n'est personne qui ne puisse trouver des chapitres intéressants à son point de vue.

Ce n'est pas aux lecteurs de l'*Annuaire* qu'il est nécessaire de rappeler le mérite de M. Helmholtz. Quant à celui de la traduction, le savant physiologiste s'en fait lui-même le garant. « En ce qui concerne cette traduction, dit-il, ayant relu toutes les épreuves,

je crois pouvoir en garantir l'exactitude. Les traducteurs ont intercalé en leur lieu et place les suppléments que dix ans écoulés depuis la publication du premier fascicule m'avaient obligé de joindre à la dernière livraison de l'édition allemande..... Les tables alphabétiques ont été refaites en entier par M. Klein, et l'assistance de M. Javal, qui est à même d'observer plus souvent que moi des maladies des yeux, m'a permis d'intercaler quelques passages relatifs, pour la plupart, aux observations que comportent les états pathologiques de ces organes. »

Ajoutons que les traducteurs ont su allier au respect le plus scrupuleux de la pensée un style clair et précis.

G. Rayet.

VIII

LES PHÉNOMÈNES DE LA PHYSIQUE

PAR M. AMÉDÉE GUILLEMIN,

1 vol. gr. in-8, avec 450 figures dans le texte et 11 planches imprimées en couleur. — Hachette 1867.

Il serait difficile de nier que, depuis plusieurs années, le public goûte plus qu'autrefois les ouvrages scientifiques, et qu'il apporte dans ses préférences un choix éclairé ; ceux qui font à la masse des lecteurs le plus d'avances n'ont pas toujours le mieux réussi, et souvent, au contraire, le succès est venu chercher ceux qui n'ont rien sacrifié pour l'obtenir.

Ces succès sont de bon aloi ; ils encouragent le travail consciencieux et montrent que le lecteur, familiarisé déjà avec les éléments de la science, suivra avec plus d'intérêt ceux qui voudront le guider vers des régions élevées, que les écrivains pusillanimes qui n'osent lui demander un léger effort d'attention. Pas plus dans le livre qu'il publie aujourd'hui que dans *le Ciel*, dont il existe déjà trois éditions françaises et une anglaise, M. Guillemin n'a cru devoir faire de concessions exagérées à son lecteur ; il l'entraîne sans hésiter vers ces parties de la physique qui naguère encore étaient l'apanage des cours de faculté et n'étaient pas abordées

dans les lycées ; mais il le fait avec une telle dextérité et en évitant si habilement les obstacles que nous sommes presque au regret de dire que tout ce qui touche dans l'optique à la lumière polarisée et aux interférences était regardé autrefois comme d'une compréhension assez difficile ; nous regrettons de le dire, car souvent le lecteur de M. Guillemin ne se doutera pas de ces difficultés, tant elles sont habilement vaincues.

M. Guillemin a divisé son volume en sept livres : la pesanteur, le son, la lumière, la chaleur, le magnétisme, l'électricité et les météores atmosphériques. Cet ordre n'est pas celui qui est habituellement suivi dans les cours de physique, où l'étude de la chaleur suit immédiatement celle de la pesanteur ; mais M. Guillemin a voulu, non-seulement présenter l'ensemble des brillants phénomènes de la physique, il a voulu encore donner une idée de la théorie des ondulations, et, par suite, il a cru avec raison devoir familiariser l'esprit avec les ondes sonores avant de passer à l'étude plus délicate des ondes lumineuses. M. Guillemin est au courant des travaux qui ont enrichi récemment la science de l'acoustique : les curieuses expériences de M. Lissajous, celle d'Helmholtz sur les timbres y sont décrites avec soin.

C'est dans le livre de la *lumière* que M. Guillemin a déployé le luxe de figures et de planches que MM. Hachette ont mis à sa disposition ; les spectres lumineux du soleil, de Sirius, ceux de quelques métaux et métalloïdes sont représentés avec une grande netteté ; il en est de même des anneaux colorés et des planches qui représentent les interférences. L'abondance des figures n'est pas seulement une distraction agréable pour l'esprit, elle aide singulièrement à la compréhension nette des phénomènes ; telle expérience qui exigerait plusieurs pages pour être bien décrite est comprise à la seule inspection d'une estampe ; M. Guillemin a souvent représenté l'opérateur lui-même disposant ses appareils ou les mettant en jeu, et cette heureuse idée ajoute encore à la clarté de l'exposition. Nous n'avons pas besoin d'insister sur cette qualité : elle est habituelle à M. Guillemin ; les lecteurs de l'*Annuaire* ont lu avec intérêt les articles dont notre collaborateur a bien voulu enrichir ce recueil, et tout éloge dans ce sens serait ici déplacé.

Bien souvent, en écrivant ces lignes, j'ai déposé la plume pour rouvrir le livre de M. Guillemin, espérant saisir une négligence, voire même une erreur : je l'aurais signalée sans pitié, afin

de rendre plus vif par le contraste l'éloge que je fais de cet ouvrage; mais trouver une erreur dans un livre de M. Guillemin est une tâche difficile à remplir. Je me laisse entraîner dans cette recherche, je tourne les pages et je lis pour mon compte. Un grand nombre des faits que cite M. Guillemin me sont cependant connus, mais l'exposition est attachante, et puis les souvenirs se lient si intimement dans l'esprit de chacun de nous, qu'en revoyant telle théorie ou telle expérience, je me rappelle l'époque déjà éloignée où, jeune et avide d'apprendre, j'abordais la vie avec confiance, ignorant encore qu'on n'avance en âge qu'en laissant à chaque pas derrière soi, un de ceux qu'on a aimés.

P.-P. D.

IX

DE L'ŒIL

Notions élémentaires sur la fonction de la vue et ses anomalies, par le docteur Girard Teulon, 1 vol. in-18, chez Germer-Baillière.

Le livre de M. le docteur Girard-Teulon est avant tout une œuvre de vulgarisation; cet ouvrage ne saurait être goûté cependant par un lecteur absolument étranger aux questions de physiques physiologique, mais il est destiné à mettre l'ophthalmologie à la portée des étudiants et des médecins qui n'en ont point fait une étude spéciale. Il est bon, il est utile que ces notions d'une importance extrême soient plus généralement connues.

L'ouvrage est écrit d'une façon claire : après avoir indiqué rapidement le fonctionnement de l'œil normal, et avoir expliqué la vision binoculaire, l'auteur explique les modifications apportées par l'âge ; les anomalies de la vision sont ensuite étudiées avec quelques détails, elles sont classées de telle sorte que l'on peut trouver facilement la nature d'une vue au moyen de caractères simples. Le strabisme forme le sujet d'un chapitre, la question est très-nettement traitée. Enfin, des conseils sur l'emploi des lunettes et l'hygiène de la vue terminent ce livre.

Il y a là, nous le répétons, bien des notions utiles, et dont la

connaissance pourrait empêcher souvent l'apparition de troubles rendus irremédiables par le manque de précautions convenables.

Quoique ce livre soit destiné aux médecins, ce n'est point un livre de médecine exclusivement, et il peut être consulté avec avantage dans un grand nombre de cas, au point de vue des mesures hygiéniques rationnelles que l'on doit prendre pour assurer la conservation de la fonction normale d'un organe, auquel on ne donne point tous les soins qu'il exige ; ce que son importance extrême justifierait complétement.

C.-M. G.

X

DU MOUVEMENT DANS LES FONCTIONS DE LA VIE

Leçons faites au Collége de France par E.-J. Marey[1]

Les travaux du docteur Marey ne sont pas inconnus des lecteurs de l'*Annuaire :* M. Dehérain a fait connaître ceux qui ont rapport à l'étude de la circulation du sang[2] ; M. Marey a exposé ici même, l'an passé, les méthodes qu'il a employées pour déterminer la vitesse de l'agent nerveux et étudier le mécanisme des *secousses* et des *contractions* musculaires[3]. Le livre dont nous avons inscrit le titre en tête de cet article, a trait à l'étude des mouvements musculaires et nous fait descendre jusqu'aux phénomènes intimes qui les provoquent; l'exposé des travaux spéciaux qui se rapportent à cette question est précédé de généralités fort intéressantes sur les procédés nouveaux qui commencent à se substituer aux observations toujours incomplètes auxquelles les physiologistes avaient uniquement recours autrefois.

Toute cette première partie du livre de M. Marey est traitée avec un soin minutieux, une perfection extrême : cela devait

[1] 1 vol. in-8, chez Germer-Baillière.

[2] *Annuaire* de 1865.

[3] *Annuaire* de 1867 : *La physiologie dans ses rapports avec la science moderne.*

être ; M. Marey s'étant jusqu'à présent presque entièrement adonné à l'étude et aux perfectionnements des appareils enregistreurs, s'efforce de faire comprendre leur importance et de montrer tout le parti que l'on en peut tirer.

Il ne s'agit pas seulement ici d'une question de détails, d'une amélioration apportée à un appareil : il y a une question capitale, une question de méthode. La substitution de la méthode graphique dans laquelle un phénomène se peint lui-même, pour ainsi dire, jusque dans ses moindres détails, à la méthode de l'observation directe, qui ne saisit que grossièrement les modifications brusques et rapides, est de première importance. Les Allemands l'ont bien compris : le kymographion de Ludwig, le myographe de Helmholtz, le sphygmographe de Vieroldt, premiers types des appareils enregistreurs que les physiologistes aient employés, sont originaires de l'Allemagne, et depuis leur apparition, la méthode a fait de nombreux adeptes dans ce pays. Ces appareils et d'autres encore ne sont pas sans inconvénient ; ils sont, en général, compliqués et, par suite, peu commodes à manier ; cette complication a d'autres désavantages, par exemple, celui d'introduire dans le graphique obtenu des déformations dues uniquement à l'appareil. M. Marey modifia, simplifia ces appareils et les rendit bien plus propres à une étude exacte ; le sphygmographe, le cardiographe, les appareils propres à l'étude de la vitesse de l'agent nerveux, le polygraphe enfin, présentent des détails des plus ingénieux et dénotent une connaissance approfondie des besoins de l'expérience ; on retrouve, du reste, le même esprit d'ingéniosité dans les divers appareils schématiques, construits pour expliquer et faire comprendre le jeu du cœur pendant la systole et la diastole, son choc contre les parois de la poitrine, l'influence de l'élasticité artérielle, le mécanisme de la respiration, etc. Mais l'importance particulière des appareils de recherche est due bien plus encore à l'emploi de la méthode graphique qu'à ces dispositions spéciales toutes parfaites qu'elles soient d'ailleurs.

L'observation directe peut être suffisante lorsqu'il s'agit de l'étude d'une modification lente, que l'on puisse faire varier, arrêter au besoin : l'élasticité des corps organisés ou non organisés a pu être déterminée par cette méthode ; mais que peut-on attendre de l'usage de nos sens appliqués à l'étude d'un phénomène qui commence, présente certaines variations et disparaît

en moins de 0,1 de secondes ? rien évidemment. Or, les actions élémentaires des fonctions de l'organisme ont des durées souvent moindres encore, et ce sont ces actions élémentaires qui, se combinant entre elles, arrivent à former les phénomènes complexes. Ceux-ci seuls peuvent être abordés par l'observation directe, et l'on ne peut en déduire celles-là ; au contraire, les actions élémentaires nettement connues et déterminées permettent de prévoir la nature de leurs résultantes. La méthode graphique seule peut nous faire connaître ces modifications rapides dans leurs variations les plus intimes, elle peut nous révéler l'existence de phénomènes inconnus jusqu'à présent. Cette méthode tend même à s'introduire dans l'étude des phénomènes à marche lente : on l'a appliquée à l'élasticité dont nous avons parlé, et les résultats obtenus, sans avoir peut-être plus de valeur que ceux qu'a donnés l'observation directe, se présentent sous une forme qui fait mieux saisir les changements survenus pendant l'expérience.

Telles sont les idées développées par M. Marey dans son livre, celles sur lesquelles il a principalement insisté dans les leçons qu'il a faites cette année au Collége de France. Cette méthode qu'il préconise, qui l'a guidé dans ses travaux, est précieuse en ce qu'elle nous fournit de nouveaux moyens d'investigation, qu'elle ouvre un vaste champ aux recherches et qu'elle nous présente la possibilité, sinon la probabilité, d'arriver à la connaissance de faits que rien jusqu'à présent n'a pu nous faire soupçonner. Il suffit de signaler ce point de vue pour faire saisir l'utilité de propager ces idées, encore trop peu répandues.

C.-M. G.

CHIMIE APPLIQUÉE

I

LE VIN

Études sur le vin, ses maladies, causes qui les provoquent, procédés nouveaux pour le conserver et pour le vieillir, par M. L. Pasteur, membre de l'Institut. — *Le Vin*, par M. de Vergnette-Lamothe, correspondant de l'Institut. — Recherches de MM. Berthelot et de Fleurieu, Béchamp, etc. — *Comptes rendus.*

« La superficie du sol de la France plantée en vigne s'élève à plus de 2,000,000 d'hectares, et elle s'accroît chaque année dans une proportion sensible. Ces 2,000,000 d'hectares représentent annuellement environ 50,000,000 d'hectolitres de vin, dont la valeur moyenne dépasse 500 millions de francs. » Ainsi débute l'ouvrage dans lequel M. Pasteur a résumé les recherches qui l'ont occupé pendant plusieurs années, ces évaluations n'ont rien d'exagéré et montrent d'abord, quelle importance auront pour la France tous les perfectionnements qu'on pourra apporter dans l'art de fabriquer le vin et surtout de le conserver.

Nos vins de France, naturels, non additionnés d'alcool, sont, en effet, beaucoup plus délicats que ceux des régions plus méridionales, et les maladies qui les frappent occasionnent des pertes considérables... l'étude de ces maladies et des procédés préconisés pour les combattre sera l'objet principal de cette notice, dans laquelle nous exposerons cependant aussi les principaux phénomènes qui se produisent pendant que le vin vieillit.

I

Composition du vin. — Réactions des acides sur l'alcool. — Éthers et autres principes odorants. — Action de l'oxygène sur le vin.

Nous avons insisté déjà à différentes reprises sur les phénomènes de fermentation[1] et nous n'y reviendrons pas ; nous savons que sous l'influence d'un ferment, la glucose contenue dans les raisins se métamorphose en alcool et en acide carbonique, et qu'il se produit en même temps une certaine quantité d'acide succinique et de glycérine ; en outre l'acide acétique paraît être un des produits habituels de la fermentation du moût de raisin et on le rencontre habituellement dans le vin ; celui-ci renferme encore de l'acide tartrique généralement combiné à la potasse et formant avec elle un composé peu soluble dans les liqueurs alcooliques, qui déposé au fond des tonneaux et des bouteilles, constitue une partie de la lie, enfin il existe encore dans le vin outre les acides malique et citrique, d'autres acides mal déterminés en quantités sensibles, puisqu'ils représentent environ la moitié du poids des acides que l'analyse découvrait dans ce liquide.

Les acides sont non-seulement capables de s'unir aux bases, telles que la potasse ou la chaux qu'on rencontre dans le moût de raisin, mais aussi de contracter des combinaisons importantes avec l'esprit-de-vin, la glycérine ou même l'alcool amylique qui existe aussi en petite proportion dans le vin. Ces *éthers* résultant de la combinaison des acides avec les alcools présentent souvent des odeurs remarquables ; leur préparation est des plus aisées, et les confiseurs savent très-bien utiliser aujourd'hui l'essence de poire qu'on obtient par la combinaison de l'acide valérique avec l'alcool amylique, essence identique, au reste, avec la matière même à laquelle les poires doivent leur parfum ; dans les cours de chimie on prépare très-aisément encore un liquide présentant l'odeur de la fraise ou celle de l'ananas, en combinant sous l'influence de l'acide sulfurique, l'alcool ordinaire avec l'acide du beurre rance, l'acide butyrique.

[1] Voir *Annuaire de* 1862, p. 105, et 1863 p. 335.

Toutes les fois que des acides libres sont mélangés aux alcools, ils donnent naissance à quelques-uns de ces éthers, et M. Berthelot a déterminé avec les plus grands soins la quantité de ces éthers qui peut se produire dans les liqueurs très-aqueuses comme le vin ; il a reconnu ainsi que la proportion de ces éthers qui devait se former et qui se formait, en effet, dans le vin était extrêmement faible. Aussi ce savant chimiste est-il arrivé à modifier profondément l'opinion généralement répandue sur le bouquet des vins.

On pouvait croire que l'effet du temps favorable à ces réactions entre les acides et les alcools était surtout avantageux en facilitant la formation de ces éthers auxquels on attribuait généralement le bouquet des vins ; il est loin d'en être ainsi : « Les principes qui communiquent aux vins, la saveur vineuse sont d'un tout autre ordre que les éthers, » nous dit M. Berthelot, dans l'une des communications qu'il adressait il y a quelques années à l'Académie des sciences sur ces questions délicates ; il ne se contentait pas, au reste, de le dire, il le prouvait en extrayant du vin les principes odorants au moyen de l'éther ordinaire qui les dissout, et les abandonne après son évaporation. « Le goût vineux et le bouquet se trouvent concentrés dans cet extrait, tandis que la vinasse, privée d'éther au moyen d'un courant d'acide carbonique, en demeure à peu près dépourvue, tout en conservant une saveur acide et alcoolique fort peu agréable. » En cherchant enfin à déterminer quels sont les principes immédiats, dissous par l'éther et qui communiquent au vin son bouquet, on y trouve, outre un peu d'alcool amylique, d'éther et d'acide, un principe très-altérable sous l'influence de l'air et sous celle de la chaleur, et qui paraît être une aldéhyde très-oxygénée, dérivée des alcools polyatomiques. » Ce résultat est digne d'attention, et bien que ces recherches soient encore restées dans le domaine de la science pure et qu'aucune tentative sérieuse n'ait été faite pour reproduire artificiellement le bouquet des vins comme on reproduit celui de la fraise ou des poires, il n'est pas moins intéressant d'avoir quelques notions sur la nature des corps auxquels sont dus la saveur et le parfum qui différencient si profondément les vins des divers cépages. On ne peut pas affirmer sans doute qu'on réussira dans la préparation artificielle de ces combinaisons délicates, mais on a déjà fait un pas dans cette voie et il était important,

avant de tenter cette recherche, de connaître exactement le corps qu'il fallait obtenir; malheureusement on le voit, ce corps est très-altérable, il n'existe dans le vin qu'en très-petite quantité et M. Berthelot n'a pu qu'indiquer approximativement sa nature.

Puisque le principe qui détermine le bouquet du vin, est très-oxydable, que sous l'influence de l'oxygène de l'air, il perd rapidement son odeur caractéristique, on croirait pouvoir affirmer en quelque sorte *a priori* que l'oxygène exercera sur le vin une action fâcheuse. C'est en effet ce qui a lieu, si cette action est assez brusque pour déterminer l'oxydation du principe odorant, M. Berthelot l'a démontré facilement en agitant vivement dans un flacon de l'oxygène et du vin, l'action est très-rapide ; le contact de 50 centimètres cubes d'air ont suffi pour altérer complétement le bouquet de 1 litre de vin de Thorin. M. Berthelot attribue à cette action de l'oxygène sur le vin plusieurs faits souvent observés. « L'altération du vin dans les bouteilles en vidange, la diminution du bouquet bien connue des gourmets, dans les vins simplement transvasés sont dues à l'action de l'oxygène. Il n'est pas jusqu'à l'addition de l'eau au vin qui, loin d'être un simple mélange, comme on le croit en général, ne provoque une réaction capable d'altérer en quelques minutes le bouquet, en raison de l'oxygène dissous dans l'eau elle-même ; un volume d'eau peut ainsi détruire le bouquet, d'environ son propre volume, d'un vin comparable à ceux que j'ai étudiés. »

Il faut distinguer toutefois entre l'action rapide qu'exerce l'oxygène sur le vin et l'action lente qui prend naissance quand l'air pénétrant peu à peu dans le liquide au travers des douves des tonneaux se combine lentement avec des différents éléments ; cette action, loin d'être nuisible, est utile au contraire et d'après M. Pasteur, c'est cette lente oxydation qui détermine dans le vin les changements qui font rechercher le vin vieux, et permettent de le distinguer d'un vin jeune, encore vert.

Pour démontrer combien est grande cette influence de l'oxygène, M. Pasteur a conservé pendant une année huit sortes de vins d'Arbois de diverses qualités, recueillis alors qu'ils étaient encore sous marc et introduits dans des flacons de façon à éviter complétement le contact de l'air. Or, ces vins, après une année, avaient la même couleur de vin nouveau qu'à l'origine, la même saveur de vin vert et acerbe et jusqu'à l'odeur et le goût assez sensible de levûre.

Enfin, ils semblaient n'avoir éprouvé aucun vieillissement. Qu'on enferme ce même vin dans des tubes de verre, en remplissant les uns, tandis qu'on laissera dans les autres une proportion notable d'air et on obtiendra des résultats très-différents. « Dans les tubes pleins, conservation à peu près intégrale du vin rouge ou blanc et pas de changement appréciable de sa saveur, le vin conserve son goût de vin nouveau, et ne prend aucun bouquet particulier. Au contraire, le vin soumis à l'action de l'air donne un dépôt considérable. La teinte du vin blanc se fonce, celle du vin rouge s'éclaircit et finit par n'être plus que d'un brun rouge très-faible. Enfin, le vin perd sa saveur originelle, vieillit outre mesure, et prend au plus haut degré le goût des vins de Rancio, s'il s'agit de vin rouge et le goût de madère s'il s'agit de vin blanc.

« Dans les premiers temps de l'expérience, le vin n'est qu'éventé, souvent fort désagréable. Le bourgogne prend de l'amertume, perd son bouquet, sa couleur noircit. Mais ces effets sont passagers et, dans tous les cas, pour bien apprécier l'influence de l'air, il faut ensuite conserver le vin, pendant un mois ou deux, en vases clos et remplis parce qu'il s'opère alors des changements considérables, généralement favorables à la qualité du vin. Ce serait une grande erreur de croire que l'effet de l'oxygène se complète tout de suite. La première influence de l'oxygène n'est pas l'influence durable, ce n'est pas celle qui sera constatée après un certain temps si le vin est conservé à l'abri d'une oxydation nouvelle. »

Si nous examinons maintenant, à la suite de M. Pasteur quelques-unes des pratiques usitées dans les celliers, nous reconnaîtrons sans doute qu'elles ont leur raison d'être ; pourquoi d'abord cette habitude de conserver le vin dans des tonneaux de bois et non dans des vases de verre même de grandes dimensions ; c'est sans doute parce que l'oxygène de l'air pénètre lentement par endosmose au travers des pores du bois, et se combinant peu à peu avec quelques-uns des principes du vin, détermine leur altération et leur dépôt au fond des tonneaux ; remarquons que cette manière de voir est basée sur une observation importante qui a été faite successivement par MM. Boussingault, Berthelot et de Fleurieu, et Pasteur, à savoir qu'on ne trouve pas d'oxygène libre en dissolution dans le vin ; on y trouve toujours en revanche de l'acide carbonique et de l'azote, et on en tire la preuve que l'air a pénétré, mais que l'oxygène s'est peu à peu transformé en acide carbonique en

brûlant quelques-uns des produits oxydables du vin. C'est encore à cette action de l'oxygène qu'il faut attribuer d'après M. Pasteur les qualités qu'acquièrent les vins qui ont voyagé, principalement dans les pays chauds. « Je suis persuadé, dit ce savant éminent, que les changements que l'on constate doivent être attribués bien plus à l'action de l'oxygène qu'à l'élévation de la température. Deux circonstances favorisent l'introduction de l'oxygène durant le voyage aux Indes et en Amérique : une évaporation plus rapide à la surface des douves, et surtout le choc du liquide contre les parois, agissant non comme agitation, mais comme causes de variations brusques et sans cesse répétées de la pression intérieure, d'où résultent une sortie des gaz azote et acide carbonique et une rentrée d'air à travers les pores du bois, bien plus actives que dans le cas où le vin est abandonné au repos dans une cave froide. »

Si une certaine aération est ainsi favorable au développement des qualités du vin, cette aération ne doit pas être trop prolongée, aussi voyons-nous que lorsque le vin est resté pendant un certain temps en fûts, c'est-à-dire dans un vase perméable, on juge utile de le mettre en bouteille, c'est-à-dire dans un vase où il est complétement à l'abri de l'air où la réaction de l'oxygène pourra se compléter, sans atteindre le point où elle deviendrait nuisible, où le vin fait pourra se conserver pendant de longues années, si les bouchons sont complétement imperméables et surtout s'il n'a entraîné avec lui, aucun des germes des maladies qui souvent le détériorent rapidement.

II

Maladies des vins. — Leurs causes. — Vins piqués. — Vins tournés, montés, qui ont la pousse. — Vins filants. — Vins amers. — Observations de M. Pasteur.

Il arrive parfois que le vin subit des altérations profondes, il s'aigrit, devient amer ; la fermentation, d'abord arrêtée, semble reprendre une nouvelle énergie, des gaz se dégagent ; un vin d'abord potable, même bon, perd peu à peu toutes ses qualités et son prix marchand tombe considérablement ; de là des entraves dans un des commerces les plus importants de notre pays, entraves qui, assure-t-on, ont diminué dans une proportion notable les avantages qu'on

espérait retirer des traités faits avec les pays étrangers et notamment avec l'Angleterre.

Pendant longtemps on n'a su à quelles causes attribuer les altérations profondes que présentent les vins malades, et cependant, on trouve déjà dans les œuvres de Chaptal quelques indications sur ce sujet. « Un phénomène, dit-il, qui a autant frappé qu'embarrassé les nombreux écrivains, qui ont parlé des maladies du vin, c'est ce qu'on appelle les *fleurs du vin*. Elles se forment dans les tonneaux mais surtout dans les bouteilles, dont elles occupent le goulot : elles annoncent et précèdent constamment la dégénération acide du vin. » Des travaux importants qu'avait publiés M. Pasteur, sur les fermentations lactique et alcoolique, le rôle qu'il y faisait jouer aux végétations cryptogamiques devaient appeler vivement son attention sur les idées émises par Chaptal, et bientôt il eut occasion de reconnaître l'importance du rôle de ces mycodermes dans les diverses altérations que présentent les vins. En 1861, M. Balard consulté sur les causes d'une altération spontanée des vins de l'Hérault, eut recours aux conseils de M. Pasteur et reconnut sans peine dans le liquide le ferment lactique ; puis bientôt dans un autre vin également altéré, la présence du ferment acétique, ces premiers faits ne restèrent pas isolés et M. Pasteur après avoir établi une série de recherches sur cette question capitale en s'aidant à la fois de l'analyse chimique et des observations microscopiques fut conduit à professer qu'à chaque maladie particulière correspondait une végétation mycodermique spéciale.

Suivons dans ces recherches intéressantes le savant chimiste de l'École normale ; d'après lui, on aperçoit à la surface des vins aigres, acides une petite plante blanche, qui examinée au microscope, apparaît sous forme de petits articles très-courts, qu'il ne faut pas confondre avec la fleur du vin. Le *mycoderma aceti*, en effet, la fleur du vinaigre détermine toujours la formation de l'acide acétique, tandis qu'au contraire, le *mycoderma vini*, provoque une oxydation plus profonde de l'alcool et le change en acide carbonique et en eau. Quand on ne pratique pas avec grand soin l'ouillage des tonneaux, on ne tarde pas à y voir apparaître une de ces deux végétations cryptogamiques ; mais, tandis que le *mycoderma vini* ne présente pas de grands inconvénients, le *mycoderma aceti*, au contraire, est des plus dangereux, et il faut évi-

ter sa présence à tout prix. D'après M. Pasteur, les vins du Jura, notamment ceux d'Arbois des Arsures, etc., se couvrent habituellement de *mycoderma vini* auquel on ne paraît pas attacher grande importance, car on laisse habituellement les tonneaux en vidange, tandis qu'au contraire le *mycoderma aceti*, semble se développer plus facilement sur les vins de Bourgogne ; aussi, dans les vins de la Côte-d'Or, pratique-t-on l'ouillage avec le plus grand soin. On voit donc que Chaptal avait tort de dire que la présence des fleurs indique toujours qu'un vin s'aigrit, il arrive souvent que la présence de la fleur annonce que le vin commence à s'aigrir, mais c'est seulement quand cette fleur est formée par le *mycoderma aceti*. La maladie de la *pousse* est bien différente de la précédente, elle se traduit d'abord par un violent dégagement de gaz, les fonds des tonneaux se bombent, les bondes sont soulevées ; si on pratique un fausset, le vin jaillit avec violence, de là l'expression qu'il a, la pousse ; en examinant de ces sortes de vins, M. Pasteur y reconnut de long filaments, ayant quelques ressemblances avec le ferment lactique ; il reconnut même que les vins qui présentaient ces filaments renfermaient de l'acide lactique, mais comme d'autre part M. Balard avait découvert l'acide lactique dans des vins qui ne paraissaient pas avoir été malades, que de plus les ferments filamenteux sont nombreux et exercent des actions variées, M. Pasteur ne croit pas pouvoir affirmer que les vins qui ont la pousse soient des vins dans lesquels se développe la fermentation lactique.

La maladie de la *graisse* est rare dans les vins rouges, très-fréquente, au contraire, dans les vins blancs, particulièrement dans ceux de la Loire et de l'Orléanais. Les vins perdent leur limpidité naturelle, deviennent plats et fades, et lorsqu'on les transvase, ils filent comme de l'huile ; or, on trouve en général dans les vins atteints de cette maladie, des filaments formés d'articles sphériques réunis les uns aux autres.

Si la *pousse* atteint particulièrement les vins ordinaires, la *graisse*, les vins blancs, la maladie de l'*amer* paraît spéciale aux vins fins de la Côte-d'Or, elle s'attaque aux produits du pinot, et occasionne des pertes d'autant plus sensibles que les vins qu'elle détruit sont d'un prix plus élevé. M. de Verguette-Lamothe distingue deux sortes d'amertume, l'une atteint spécialement les vins âgés, l'autre les frappe dès les premières années. « Au début du

mal, dit cet habile œnologue, le vin commence par présenter une odeur *sui generis*, sa couleur est moins vive; au goût on le trouve fade, nos tonneliers disent que le vin *doucine*, la saveur amère n'est pas encore prononcée, mais elle est imminente si l'on n'y prend garde. Tous ces caractères ne tardent pas à augmenter rapidement ; bientôt le goût devient amer et on reconnaît à la dégustation un léger goût de fermentation dû à la présence de quelques bulles d'acide carbonique. Enfin, la maladie peut s'aggraver encore, la matière colorante s'altère complétement, le tartre est décomposé et le vin n'est plus buvable. »

M. Pasteur attribue encore l'amertume du vin à un ferment particulier qu'il décrit avec soin et qu'il représente dans son ouvrage par plusieurs estampes remarquables et figurées comme toutes les autres vues microscopiques avec une rare perfection.

Quelle est la nature de ce ferment? quelles sont ses fonctions physiologiques? Sur quel élément du vin porte-t-il son action? Quel est le produit qui donne au vin son amertume? Telles sont les questions qu'on peut encore se poser et qui ne sont pas plus résolues pour la maladie de l'amertume, que pour celles de la pousse ou de la graisse; on ne peut donc nier que la partie scientifique de ces recherches ne soit encore très-incomplète et qu'il reste de longues et minutieuses études à poursuivre pour connaître dans leur détail, toutes les causes qui déterminent les altérations du vin comme on connaît par exemple sa transformation en acide acétique. Toutefois on ne peut nier qu'on ait fait un pas décisif, si on admet avec M. Pasteur, que la cause de toutes les maladies du vin est due à l'apparition et au développement de végétations cryptogamiques.

En effet, de cette connaissance surgira le mode de traitement de ces maladies, et l'énoncé d'un procédé probablement efficace pour les prévenir.

III

Conservation des vins. — Diverses méthodes employées. — Addition au vin, de résine ou d'alcool; chauffage des vins. — Appert. — M. de Vergnette-Lamothe. — M. Pasteur. — Méthode actuellement employée. — Conclusion.

Les altérations que subissent nos vins de France, ne leur sont pas particulières, et les vins des autres pays sont aussi susceptibles d'être

atteints par des maladies analogues; aussi voyons-nous employer depuis un temps fort reculé, diverses pratiques qui ont surtout pour but de conserver les vins ; on sait qu'en Orient, comme autrefois dans l'antiquité, on ajoute au vin de la poix résine qui modifie profondément sa saveur, mais favorise sa conservation ; on sait encore que les vins de Portugal ne peuvent être exportées qu'à la condition d'être fortement additionnés d'eau-de-vie ; quelquefois cette addition est en quelque sorte déguisée, on ajoute du sucre au moût au moment de la fermentation et on obtient ainsi une quantité d'alcool plus grande, qui gêne le développement des végétations parasites. L'emploi du gaz acide sulfureux, pratique désignée sous le nom de méchage des fûts parce qu'on y brûle des mèches soufrées, le platrage des vins, ont encore pour but d'assurer leur durée.

On conçoit toutefois que les idées nouvellement émises par M. Pasteur, puissent singulièrement modifier cette manière d'agir; si le vin n'est malade que parce qu'il renferme quelques végétations parasites, il est vraisemblable qu'on arrivera à les détruire en portant le liquide à une température convenable « pour détruire toute vitalité dans les germes des parasites du vin, il suffit, dit M. Pasteur, de porter le vin, pendant quelques instants, à une température de 50 à 60°. J'ai reconnu en outre que le vin n'était jamais altéré par cette opération préalable. »

M. Pasteur rapporte des expériences assez nombreuses pour qu'il ne paraisse pas douteux que, par cette faible élévation de température, il est arrivé à préserver le vin de tous dépôts, et à conserver intact un certain nombre de bouteilles d'un vin qui abandonné à lui-même présentait rapidement de profondes altérations.

On pouvait craindre cependant que cette pratique du chauffage du vin n'eût une influence fâcheuse sur les qualités du vin, et que la température de 70° appliquée d'abord ne déterminât une saveur particulière, un goût de cuit peu agréable ; pour être fixé à cet égard, M. Pasteur rassembla une commission de négociants en vin, de dégustateurs habiles, qui fonctionna à deux reprises différentes pendant l'hiver de 1865 ; dans la première séance, les vins non chauffés, quand ils n'avaient pas été profondément altérés par diverses maladies, furent en général reconnus meilleurs, plus agréables que les vins chauffés ; mais dans la seconde séance

M. Pasteur remit aux dégustateurs les échantillons sans indiquer leurs provenances et sans distinguer les vins chauffés de ceux qui ne l'avaient pas été ; or, dans ce cas, les avis furent partagés et il y eut incertitude chez les membres de la commission sur la préférence a donner aux vins chauffés et non chauffés.

Il serait donc impossible, d'après ces résultats précis, de critiquer le chauffage des vins comme devant diminuer la qualité des vins, il est très-probable, au contraire, qu'il n'exerce aucune action fâcheuse ; la méthode que M. Pasteur met en pratique est au reste des plus simples. Quand il s'agit de chauffer le vin en bouteilles, il est bon de transvaser s'il renferme quelque dépôt ; puis après avoir bien bouché, on ficelle chaque bouteille et on la porte dans un bain-marie.

On chauffe jusqu'à ce que le thermomètre placé dans une bouteille remplie d'eau marque 60°, à ce moment on arrête, on refroidit un peu l'eau et on place de nouvelles bouteilles. La dilatation du vin pendant son échauffement tend à faire sortir le bouchon, mais la ficelle le retient et le vin suinte entre le bouchon et les parois intérieures du goulot. Pendant le refroidissement des bouteilles, le volume du vin diminue, on frappe sur les bouchons pour les renfoncer, on ôte la ficelle et l'on met le vin en cave. — On pourrait au reste remplacer le bain-marie par une grande étuve où l'on chaufferait un plus grand nombre de bouteilles à la fois. — Le vin en fût a été chauffé à 60° au bain-marie, mais peut-être réussirait-on plus facilement en faisant circuler dans les tonneaux de la vapeur au moyen d'un serpentin.

Une assez longue discussion s'est élevée à la suite de la publication de ce procédé, entre MM. Pasteur et de Vergnette-Lamothe, sur la priorité de l'idée du chauffage des vins. Toutefois M. Pasteur a retrouvé dans les écrits d'Appert une méthode de conservation des vins qui rappelle les principaux traits de celle qui est préconisée aujourd'hui de telle sorte qu'on pourrait faire remonter à cet habile fabricant l'idée du procédé actuel.

Sans nous égarer dans cette discussion stérile, nous ne pouvons, en terminant, que faire des vœux pour que la méthode du chauffage des vins soit mise en pratique sur une large échelle ; si on établit un grand nombre d'essais comparatifs, on pourra, dans dix ou quinze ans d'ici, se prononcer d'une façon définitive ; aujourd'hui toute affirmation dans un sens ou dans l'autre serait pré

maturée, car lorsqu'il s'agit de juger une méthode de *conservation du vin*, le temps est un élément qu'on ne saurait négliger.

P.-P. Dehérain.

II

PRODUCTION INDUSTRIELLE DU GAZ OXYGÈNE

MM. MARÉCHAL ET TESSIÉ DU MOTAY.

On sait que le gaz oxygène est l'agent principal de la combustion, et que les corps combustibles y brûlent avec le plus vif éclat; sa production économique pourrait être le point de départ d'une véritable révolution dans les grandes industries de l'éclairage, de la métallurgie, et dans tous les arts qui se servent du feu.

Bien qu'il existe en abondance à la surface de la terre des matières renfermant de l'oxygène en combinaison, il est plus naturel de chercher à extraire l'oxygène de l'air, qui en renferme 21 pour 100. Lavoisier donna la première solution en absorbant par le mercure l'oxygène de l'air et en formant un corps réductible par la seule action de la chaleur; plus tard, M. Boussingault a essayé d'utiliser la facile transformation de la baryte en bioxyde de baryum, sans obtenir de bons résultats.

MM. H. Sainte-Claire, Deville et Debray ont substitué à la baryte caustique l'acide sulfurique, qui, à la chaleur rouge, se dédouble en oxygène et en acide sulfureux; ce dernier gaz peut être employé à régénérer de l'acide sulfurique, ou mieux encore à préparer des sulfites et hyposulfites alcalins. L'*Annuaire* [1] a déjà parlé de ce procédé, qui n'a pas donné tout ce qu'on en espérait. M. A. Mallet, enfin, a proposé d'utiliser la propriété qu'a le protochlorure de cuivre, Cu^2Cl, d'absorber l'oxygène de l'air en se métamorphosant en un oxychlorure, $CuClCuO$ quand on le chauffe à 400°, et de restituer cet oxygène en repassant à l'état de protochlorure de cuivre : ici encore, la pratique n'a pas répondu aux espérances de la théorie.

[1] *Annuaire* de 1862, p. 256.

MM. Maréchal et Tessié du Motay ont récemment trouvé une nouvelle solution qui paraît répondre à toutes les exigences des industriels : ils ont basé leur procédé sur la décomposition des manganates alcalins à la température de 450° sous l'influence d'un courant de vapeur d'eau. Dans ces circonstances, le manganate de soude, par exemple, abandonne une partie de son oxygène et se transforme en sesquioxyde de manganèse et en soude caustique. La reconstitution du manganate s'opère à une température un peu supérieure à 450° sous l'action d'un courant d'air. L'acide manganique ne paraît pas prendre seul part à la réaction ; on sait, en effet, que la soude caustique NaOHO (il en est de même pour la potasse), chauffée longtemps au rouge dans un creuset d'argent au contact de l'air, se transforme en un bioxyde de sodium NaO^2, décomposable sous l'action de l'eau en oxygène et en soude caustique hydratée.

L'appareil employé par MM. Tessié du Motay et Maréchal, pour donner naissance à ces réactions encore très-incomplétement étudiées, consiste en une cornue cylindrique en fonte, séparée en deux compartiments par un diaphragme percé de trous et formant grille; on y place un mélange à équivalents égaux de sesquioxyde de manganèse et de soude caustique, et on oxyde ce mélange par un courant d'air aspiré par une cheminée; le manganate alcalin ainsi formé est soumis à l'action d'un courant de vapeur d'eau portée à la température de 450° ; celle-ci, par la disposition du diaphragme, est obligée de traverser toute la masse saline pour s'échapper avec l'oxygène qu'elle entraîne ; elle traverse une colonne de coke formant condenseur, et le gaz, privé d'eau, est recueilli dans un gazomètre.

Quand tout l'oxygène utilisable contenu dans le manganate a été dégagé, la suroxydation par l'air est recommencée, et ainsi de suite. On donne ainsi naissance, par voie d'alternance et indéfiniment, à un courant de gaz oxygène.

A l'*Exposition universelle*, nous avons vu fonctionner l'appareil construit par MM. Maréchal et Tessié du Motay, et les résultats sont remarquables. Les compagnies du gaz de l'éclairage se préoccupent sérieusement de cette nouvelle conquête industrielle, et on construit actuellement, place de l'Hôtel-de-Ville, à Paris, sept grandes cornues destinées à alimenter des becs de gaz d'une forme spéciale, où la flamme se produirait dans une

atmosphère d'oxygène. Dans ces conditions, le pouvoir éclairant du gaz est augmenté d'une manière considérable, puisque une des nouvelles lampes à atmosphère d'oxygène, consommant 100 litres de gaz à l'heure, aurait le même pouvoir éclairant que 20 becs à papillon consommant 120 litres chacun.

La lumière produite par la combustion du gaz dans une atmosphère d'oxygène est bleuâtre et très-brillante; sa combustion étant très-complète, un bec consomme une quantité de gaz assez faible pour que l'on puisse entourer la flamme avec la main sans se brûler. La production du gaz oxygène par cette nouvelle méthode aurait donc une véritable importance ; n'oublions pas toutefois que, dans ces sortes de questions, il faut attendre avant tout la consécration de la pratique.

G. Tissandier.

III

L'ACIÉRATION ET L'ABSORPTION DES GAZ PAR LES MÉTAUX.

TRAVAUX DE M. MARGUERITTE ET DE M. TH. GRAHAM.

Nous avons abordé déjà à deux reprises différentes, dans ce recueil, la délicate théorie de l'aciération ; nous avons rappelé les travaux publiés par M. Fremy et la longue discussion à laquelle ils ont donné lieu [1] ; puis, abandonnant ensuite la partie scientifique de cette importante question, nous nous sommes attachés à décrire le remarquable procédé de M. Bessemer [2], complétement passé aujourd'hui dans la pratique industrielle ; toutefois, la théorie de la cémentation, de la transformation du fer doux en acier, a présenté jusqu'à ces derniers temps plusieurs points obscurs que nous paraissent éclaircir complétement les récentes expériences de M. Margueritte [3], d'autant plus intéressantes à rappeler au-

[1] *Annuaire scientifique*, 1862, p. 218.
[2] *Id.*, 1863, p. 325.
[3] *Annales de chimie et de physique*, t. VI, 4e série, 1865, p. 55.

jourd'hui qu'elles se lient intimement aux recherches d'une importance capitale qu'a publiées cette année M. Graham sur l'absorption des gaz par les métaux [1].

I

Constitution chimique de l'acier. — Opinions diverses. — Expériences de M. Margueritte. — Cémentation du fer pur par le diamant. — Transport du charbon dans le fer. — Cémentation par l'oxyde de carbone. — Théorie de la cémentation industrielle.

Bien que la plupart des chimistes et des ingénieurs admettent que l'acier est une combinaison de fer avec une très-petite quantité de carbone, cette opinion, vivement combattue il y a quelques années par Saunderson et par M. Fremy, avait besoin de confirmation : la quantité du principe aciérant est en effet si faible, le fer est habituellement si impur, qu'on pouvait craindre que le charbon employé dans la cémentation industrielle ne fût en quelque sorte qu'une matière complémentaire venant s'ajouter à la petite quantité d'azote ou de phosphore contenue dans le fer pour former le composé complexe qui, d'après le savant chimiste du Muséum, détermine l'aciération. Pour décider si cette manière de voir est exacte, ou si l'opinion ancienne qui ne reconnaît comme partie essentielle de l'acier que le fer et le carbone doit être préférée, il fallait, on le conçoit sans peine, opérer avec des matières absolument pures, soumettre du fer dépouillé de toute matière étrangère à l'action du carbone absolument pur, et reconnaître si dans ces conditions le fer se transformait en acier. En excluant rigoureusement l'azote et le phosphore, en éliminant toute matière autre que le carbone et le fer, on devait arriver à la solution et reconnaître si l'acier est bien un carbure de fer.

En abordant cette recherche, M. Margueritte, bien connu déjà des chimistes et des industriels par plusieurs travaux importants, s'est d'abord efforcé d'obtenir du fer pur en suivant les indications données par M. Peligot pour cette préparation, qui consiste à décomposer par un courant d'hydrogène l'oxalate de fer. J'avoue toutefois que j'aurais été aise de voir M. Margueritte soumettre le fer qu'il a employé à une épreuve décisive qui témoigne de sa

[1] *Comptes rendus*, t. LXIV, 1867, p. 1067.

pureté absolue ; il assure que le fer employé est pur, et je n'en doute pas ; mais une preuve expérimentale n'eût peut-être pas été superflue. Ce fer a été soumis à l'action du carbone cristallisé, à l'action du diamant ou à celle de l'oxyde de carbone, qu'il est facile d'avoir à l'état de pureté.

Examinons d'abord, bien que ce ne soit pas l'ordre qu'ait suivi M. Margueritte dans son exposition, quelle est l'action qu'exerce le carbone sur le fer.

On dispose dans un tube de porcelaine doublement vernissé, c'est-à-dire imperméable aux gaz du foyer, une petite lame de fer doux s'appuyant sur les bords d'une nacelle de porcelaine. Sur la lame de fer on a placé un diamant ; un courant d'hydrogène, longtemps continué, a chassé l'air de l'appareil ; on a ensuite chauffé, puis on a laissé refroidir le tube après l'avoir retiré du fourneau. « L'opération s'est ainsi effectuée dans un court espace de temps, au sein de l'hydrogène et en l'absence de tout gaz carburateur ; or, après avoir ouvert le tube, on a trouvé que le diamant avait, sur la lame de fer, fait un trou comme à l'emporte-pièce, et qu'il était tombé dans la nacelle à côté d'un petit globule de fonte. Dans plusieurs autres expériences, le diamant a encore transformé le fer en fonte ; enfin, dans un dernier essai, on a fait passer un courant d'hydrogène sur un fil de fer de $1^{mm},5$ dont la moitié était noyée dans la poussière *pure* de diamant contenue dans une capsule de platine : on imitait ainsi ce qui a lieu dans les caisses de cémentation, où le fer est placé au milieu du charbon ; mais on éliminait l'action des impuretés que renferme toujours le charbon de bois employé, ainsi que l'action de l'oxyde de carbone qui se produit constamment dans les caisses de cémentation. L'essai terminé, on trouva que la partie du fer plongée dans le diamant était cémentée, tandis que l'autre moitié restée en dehors était encore à l'état de fer doux ; on ne peut donc pas dire que le carbone soit volatil et qu'il cémente à distance ; mais cependant il se propage au travers de la masse du fer quand celui-ci est maintenu pendant un temps assez long à une température très-élevée. M. Margueritte, en effet, a montré qu'une barre de fer, cémentée seulement jusqu'à une certaine profondeur, a pris une complète homogénéité de grain quand elle a été chauffée pendant plusieurs heures dans un tube de porcelaine où circulait un courant d'hydrogène pur.

Les expériences précédentes tendent donc à établir que l'acier est un carbure de fer, puisque dans l'une d'elles le fer doux a été converti en acier au contact du diamant; elles établissent encore que la cémentation peut se faire par le simple contact du charbon; toutefois, à cette cause vient s'en joindre, dans les opérations industrielles, une autre, sans doute encore plus importante. On sait que pour fabriquer l'acier de cémentation on place les barres de fer dans des caisses de maçonnerie, en les entourant complétement de charbon de bois pulvérisé; or, dans ces conditions une certaine quantité d'oxyde de carbone peut prendre naissance, et à plusieurs reprises on a attribué à ce gaz une action capitale dans l'aciération. On avait toutefois abandonné cette manière de voir, quand les expériences de M. Margueritte sont venues montrer que les composés oxygénés du carbone jouent dans l'aciération un rôle capital.

Dans un tube de porcelaine vernissé est placé un fil de $1^{mm},5$ de diamètre en fer pur. Un courant de gaz oxyde de carbone, parfaitement lavé, traverse sans la troubler l'eau de baryte contenue dans un flacon laveur, puis se dessèche, et, après avoir passé dans le tube, arrive dans un nouveau flacon à eau de baryte; le tube est chauffé à la température de fusion du cuivre, jugée dans l'industrie la plus favorable à l'aciération; dans ces conditions, le fer est cémenté en moins de deux heures, et pendant toute la durée de l'expérience il se dégage de l'acide carbonique; plusieurs opérations successives donnent les mêmes résultats et conduisent aisément à une théorie très-rationnelle de la cémentation. L'oxyde de carbone CO est, comme chacun sait, susceptible de se transformer en acide carbonique CO^2 quand il gagne de l'oxygène ou qu'il perd du charbon. On peut, en effet, avoir les deux égalités suivantes :

$$2CO + 2O = 2CO^2$$
$$2CO - C = CO^2$$

Or, sous l'influence d'une température élevée, on conçoit que l'oxyde de carbone cède du charbon au fer et donne ainsi naissance à l'acide carbonique dont on a constaté le dégagement; ce charbon déposé sur le fer peut au reste se propager dans l'intérieur, ainsi que nous l'avons vu plus haut.

D'après M. Margueritte, l'oxyde de carbone serait donc l'agent

principal de la cémentation; ce gaz, décomposé par l'influence simultanée d'une température élevée[1] et du fer chauffé, donne d'une part le carbone nécessaire à la cémentation et d'autre part de l'acide carbonique.

Toutefois, avant d'admettre cette manière de voir, il serait important de comprendre pourquoi les auteurs qui, à différentes reprises, ont traité cette question ont émis une opinion différente de celle que soutient aujourd'hui M. Margueritte; il serait utile également de reconnaître si cette explication s'accorde avec les faits observés dans la pratique industrielle.

Et d'abord comment l'action de l'oxyde de carbone sur le fer avait-elle été trouvée nulle par divers expérimentateurs? Vraisemblablement parce qu'ils ont opéré avec des courants de gaz trop lents. « Le fer, en décomposant l'oxyde de carbone, produit un dépôt de charbon, de l'oxygène et finalement de l'acide carbonique. Or, ce dernier gaz brûle le charbon. Par conséquent, s'il n'est pas écarté de la réaction, le dépôt de carbone, et par suite l'aciération, est impossible... En outre, si on opère sur des échantillons de fer un peu considérables, comme la très-petite quantité de carbone fournie par un courant très-lent de gaz a le temps de pénétrer dans la masse de fer sans pouvoir s'accumuler à la surface et rendre sensibles les caractères de l'acier, il en résulte qu'il semble ne pas se produire de cémentation, même superficielle, et que l'action de l'oxyde de carbone paraît nulle. Ce sont sans aucun doute ces circonstances qui l'ont fait jusqu'ici considérer comme telle par les chimistes qui se sont occupés de cette question. En effet, dans un courant très-lent d'oxyde de carbone, la cémentation n'est visible et appréciable par ses caractères physiques que lorsqu'elle est complète. »

Dans les caisses de cémentation, l'atmosphère est essentiellement réductrice, ainsi que l'a montré M. Cailletet[2]; elle renferme de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone et de l'azote, et pas d'acide carbonique, et on conçoit qu'il en soit ainsi, car ce dernier gaz

[1] On sait que M. H. Sainte-Claire Deville a démontré dans ses remarquables expériences de dissociation, qu'à la température de fusion de l'argent, l'oxyde de carbone pouvait se décomposer en carbone et en acide carbonique même en présence du noir de fumée. — *Comptes rendus*, t. LX, p. 319 1865.

[2] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LX, p. 365

au contact du charbon se transforme constamment en oxyde de carbone; celui-ci fait en quelque sorte la navette et transporte dans le fer le carbone qu'il amène à l'état gazeux.

On sait que la pratique industrielle a reconnu utile de renouveler assez fréquemment le charbon contenu dans les caisses de cémentation, et qu'après un certain temps son action est épuisée; « ce ne serait pas, d'après M. Margueritte, parce que le charbon neuf renfermerait quelques traces de composés azotés qu'il serait particulièrement efficace, mais bien parce « qu'il dégagerait pendant fort longtemps de l'hydrogène, qui exerce sur le fer et sur les métaux qui l'accompagnent une action épurante en leur enlevant le soufre qu'ils renferment souvent, en formant de l'hydrogène sulfuré, qui serait fixé à son tour par les alcalis contenus dans les cendres à l'état de sulfure. » Le charbon de bois qui a déjà servi dans les caisses de cémentation, a perdu, au contraire, la plus grande partie de son hydrogène, en sorte que le transport du soufre, si nuisible à l'aciération, par l'intermédiaire de ce gaz, ne peut plus s'opérer sur les alcalis, qui, eux-mêmes transformés en sulfures dans une première opération, sont devenus inactifs.

Ce transport constant du charbon dans le fer par l'oxyde de carbone, qui bientôt, transformé en acide carbonique au contact du métal, s'en dégagerait pour revenir saisir au dehors du charbon et reprendre son premier état, expliquerait encore d'une façon satisfaisante les aspérités, les ampoules que présente à la surface, l'acier de cémentation; et cependant, il faut le reconnaître, l'esprit avait quelque peine à saisir la pénétration d'un gaz au travers d'une masse aussi compacte qu'un métal, avant les expériences si curieuses de M. Th. Graham qu'il nous reste à exposer.

II

Passage des gaz au travers des métaux.— Expériences de M. Sainte-Claire Deville.— Absorption des gaz par les métaux. — Absorption de l'hydrogène par le platine, le palladium et le fer. — Rapprochement entre les gaz condensés et les gaz à l'état naissant. — Présence de l'hydrogène dans le fer météorique. — Conséquence qu'en tire M. Th. Graham.

Bien que M. Th. Graham eût déjà fait connaître plusieurs faits très-curieux sur le passage des gaz à travers différents corps

poreux, c'est à M. H. Sainte-Claire Deville, les auteurs anglais le reconnaissent sans difficulté [1], qu'on doit la démonstration de la perméabilité du fer et du platine par le gaz hydrogène. Nous avons, ici même, rapporté la brillante expérience où le savant professeur de la Faculté des sciences a montré qu'un tube d'acier fondu, d'abord rempli d'hydrogène, se vidait au rouge blanc en laissant filtrer le gaz comme s'il eût été en relation avec une machine pneumatique [2], et nous concevons dès lors comment le fer plongé dans une atmosphère d'oxyde de carbone, comme celle qui existe dans les caisses de cémentation, peut être en quelque sorte pénétré par ce gaz.

Nous n'en sommes pas réduits, au reste, sur ce sujet à de simples probabilités. M. Graham a démontré par l'expérience que le fer avait une tendance remarquable à absorber l'oxyde de carbone. « Un fil de fer ordinaire, nettoyé avec soin et chauffé dans le vide pour expulser le gaz qu'il peut contenir dans ses pores, absorbe, quand on le chauffe dans différents gaz, 46 parties pour 100 en volume d'hydrogène, et 415 pour 100 d'oxyde de carbone. Le gaz spécial au fer du commerce, dont la nature dépend d'ailleurs de la forge dans laquelle il a été chauffé, est surtout formé d'oxyde de carbone, et dans les différentes expériences qui ont été faites sur ce sujet, on a évalué la proportion de ce gaz de 700 à 1250 pour 100 : de telle sorte que, dans le cours des opérations métallurgiques qu'il doit subir, le fer paraît absorber plus de sept fois son volume d'oxyde de carbone, et il conserve ensuite ce gaz entre ses molécules [3]. »

Les métaux poreux, comme le platine, possèdent à un haut degré la propriété de condenser les gaz ; il est remarquable que le platine forgé absorbe mieux l'hydrogène que le platine en mousse : « En nombres ronds, 1 volume de ce platine absorbe environ 5 volumes d'hydrogène, qui, à la température de l'expérience, doivent s'élever environ à 15 volumes. Pour comprimer 15 centimètres cubes d'hydrogène, par exemple, dans l'espace de 1 centimètre cube, il faudrait une pression de 15 atmosphères.

[1] Voyez *Revue des cours scientifiques*, 5e année, 1867-68, p. 27.

[2] *Annuaire scientifique*, 1865, p. 73.

[3] Conférence de M. W. Odling. *Revue des cours scientifiques*, 5e année, p. 29.

Mais dans l'expérience les 15 centimètres cubes d'hydrogène étaient condensés, non pas seulement dans un espace de 1 centimètre cube, mais dans un espace de cette capacité que le platine lui-même paraissait occuper en totalité et dont les pores seuls restaient libres ; de sorte qu'en évaluant le volume des pores du platine à environ 1 pour 1000 de son propre volume, la condensation de l'hydrogène dont nous avons parlé plus haut correspondra à celle qui serait produite par une pression de 15,000 atmosphères. » L'hydrogène peut-il résister à une pression semblable sans prendre l'état liquide? Cela est peu probable, et M. Th. Graham suppose que les gaz qu'il sépare en déterminant leur passage au travers de diverses membranes, et notamment des membranes en caoutchout, se liquéfient dans le trajet [1].

Les faits présentés par le palladium sont encore plus curieux : « Une feuille de ce métal maintenue pendant trois heures à une température variant entre 90 et 97 degrés, puis soumise à un refroidissement très-lent pendant une heure et demie, absorbe 643 fois son volume d'hydrogène, mesuré froid... » L'hydrogène condensé dans le palladium peut exercer ces actions réductrices particulières qui, dans les circonstances ordinaires, ne peuvent se produire que si le gaz se trouve à l'état naissant. Ainsi le palladium, lorsqu'il a absorbé de l'hydrogène, réduit très-promptement le permanganate de potasse, décolore l'empois d'amidon iodé, donne un précipité de bleu de Prusse dans un mélange de perchlorure de fer et de ferricyanure de potassium, etc. »

Ces découvertes sont, on le voit, grosses de conséquences, et d'abord la fameuse *force catalytique*, la force *mystérieuse* qu'exerce la mousse de platine, devient aujourd'hui inutile et disparaît de la science comme disparaîtront peu à peu toutes les forces mystiques que l'insuffisance des connaissances précédentes avait forcé d'imaginer. Il est clair que si les gaz réagissent plus vivement sous l'influence des corps poreux, c'est que, condensés dans leurs pores, ils arrivent à un état de concentration favorable à la combinaison. Nous savons, grâce aux expériences de M. Sorret, que l'ozone n'est que de l'oxygène condensé, et nous comprenons sans peine que ce gaz, sortant d'une combinaison où il affectait l'état solide, que l'oxygène *naissant*, ou que l'oxy-

[1] *Annuaire* de 1867, p. 77.

gène déjà condensé préparé pour la solidification au moment où il va contracter une autre union, l'oxygène *mourant*, peut exercer des actions plus énergiques que lorsqu'il se trouve dans son état de dilution habituelle, et la découverte de M. Graham sur les propriétés réductrices de l'hydrogène condensé dans le palladium métallique fortifient singulièrement cette manière de voir.

Nous ne pouvons terminer ce résumé des nouvelles expériences de l'illustre chimiste anglais sans rappeler la conséquence curieuse à laquelle il a été conduit par l'étude des gaz condensés dans le fer météorique[1].

« Il ne sera peut-être pas impossible, dit M. Th. Graham, de jeter quelque lumière sur l'origine de ceux d'entre les métaux trouvés dans la nature qui sont malléables et colloïdes[2], et en particulier du fer, du platine et de l'or natifs, en étudiant les gaz qu'ils tiennent emprisonnés, ces gaz ayant été empruntés à l'atmosphère, dans laquelle les masses métalliques se sont trouvées répandues en dernier lieu à l'état d'ignition. Le fer météorique de Lenarto, remarquable par sa pureté, était particulièrement convenable pour tenter l'expérience. Or, ce métal soumis à l'action du feu dans un tube de porcelaine où l'on avait d'abord fait le vide, a abandonné 2,85 fois son volume de gaz, dont les 86 pour 100 sont de l'hydrogène, l'oxyde de carbone ne dépassant pas 4 1/2 pour 100. Les gaz fournis par le fer ordinaire sont, comme nous l'avons vu, bien différents ; des clous de fer à cheval soumis à la même épreuve ont en effet donné 2,66 fois leur volume de gaz renfermant 50 pour 100 d'oxyde de carbone et seulement 35 pour 100 d'hydrogène.

« L'hydrogène a été reconnu par MM. Huygens et Miller dans l'analyse spectrale de la lumière des étoiles fixes. Le même gaz constitue, d'après les patientes recherches du P. Secchi, l'élément principal d'une classe nombreuse d'étoiles dont α de la Lyre est le type. Le fer de Lenarto provient sans doute d'une pareille atmosphère dans laquelle l'hydrogène était en grand excès. Ainsi nous pouvons regarder cette météorite comme tenant emprisonné dans ses pores et nous apportant l'hydrogène des étoiles. L'atmo-

[1] *Comptes rendus*, t. LXIV, 1867, p. 1057.
[2] Voy. *Annuaire scientifique*, 1864, p. 180.

sphère de notre soleil est d'une nature complétement différente.

« L'expérience a démontré qu'à la pression de notre atmosphère il était difficile de faire absorber au fer malléable plus de son volume de gaz hydrogène; or, le fer météorique, sans avoir été épuisé, a abandonné près de trois fois cette quantité. On peut en conclure que cette météorite a été expulsée d'une atmosphère dense d'hydrogène, et que pour en trouver une pareille il nous faut chercher bien au delà de la matière cométaire si ténue qui se trouve répandue dans les limites de notre système solaire. »

Jamais on n'aura donné une démonstration plus éclatante de l'intérêt que présente l'observation patiente de faits qui, au premier abord, ne paraissent pas avoir grande importance. A coup sûr, un esprit superficiel aurait pu n'attacher qu'une médiocre attention à la propriété que possèdent les métaux d'absorber certains gaz, et il eût été difficile de prévoir que cette connaissance nous conduirait à nous faire une première idée sur l'origine probable des aérolithes.

P.-P. Dehérain.

MÉDECINE

I

LA CHARITÉ A LA GUERRE.

I

Pendant que les hommes de guerre demandent à la science des moyens toujours plus puissants de destruction, répudiant ceux de la veille parce qu'ils donnaient trop parcimonieusement la mort, pendant qu'ils rêvent peut-être, de trouver un engin qui pourrait anéantir du même coup une armée entière, des hommes animés du saint respect de la vie humaine, mais forcés de subir la brutalité des armes, s'épuisent à arracher à l'œuvre meurtrière si savamment préparée, les coups qu'elle a laissés inachevés.

Quelle que soit la mesure dans laquelle cette contradiction heurte la raison, il faut encore l'accepter comme un gage de temps moins cruels, et comme un tempérament à la volupté barbare que la mêlée des combats excite dans le cœur de l'homme. Car il faut avoir le courage de le dire : il y a des heures où la rage de tuer s'empare de l'homme tout entier, où le carnage lui plaît et l'enivre, où il assouvit cette passion barbare sans se soucier de la cause qu'il sert, des adversaires qu'il frappe, du danger dont il se défend.

Quand on a le triste avantage d'avoir respiré pendant quelques heures l'atmosphère brûlante de la bataille, quand on a vu les âmes les plus timides, les plus sensibles et souvent les plus généreuses, possédées par la fureur du massacre, quand on a vu frapper des êtres sans défense, ou des cadavres glacés par la mort, on est contraint de reconnaître que l'animal carnassier n'est pas éteint en nous, et qu'à telle heure, dans tel milieu, il brise sa chaîne et se dresse féroce et sanguinaire.

Cet instinct odieux, mais irrécusable, qui sert si merveilleuse-

ment ceux qui profitent de la guerre, a-t-il perdu de sa force sous l'empire de la civilisation? L'acharnement dans la mêlée a-t-il laissé une plus grande place à la mansuétude dans les combats des derniers jours, que dans ceux que livrait Xerxès ou Annibal? On n'oserait l'assurer; mais si la bataille est aussi implacable qu'aux Thermopyles ou à Zama, on peut trouver quelque consolation au spectacle qui succède à celui des combats de nos jours, car ces heures sont remplies par des sentiments de charité et par le souci de réparer ce qui est encore réparable.

Nous voudrions essayer d'exposer les moyens par lesquels peut s'exercer avec fruit, cette sollicitude pour les blessés du champ de bataille; mais en cela notre but ne serait atteint que partiellement, car, pour être utile aux combattants, il faut que l'assistance leur soit assurée bien longtemps avant, et plus longtemps encore après les combats; ceux qui tombent là sont de beaucoup les moins nombreux.

La bataille, la victoire, voilà le but final de la guerre. Pour des esprits peu attentifs, l'effort et le sacrifice commencent et finissent là, et le triomphe des armes, l'honneur du drapeau, le choc des bataillons, l'ardeur de la mêlée voilent les cris des blessés et des mourants, adoucissent la douleur des mères et placent le martyre dans un tableau transfigurateur, où la fumée de la poudre cache la vérité.

Mais combien profonde est cette erreur, ceux-là seuls peuvent le savoir qui ont suivi des armées en campagne. Dans ces longues étapes vers la gloire, la poésie n'a que quelques courts instants, et les tortures obscures provoquées par les privations et par les maladies qu'elles engendrent, les blessures qui mènent lentement à la mort, et plus lentement encore à la guérison, remplissent misérablement et seules les longues heures. La charité et la prévoyance trouvent là un aliment autrement considérable que sur le champ de bataille.

Étant admise la fatalité de la guerre et les morts nécessaires qu'elle entraîne, la préoccupation d'un chef d'armée doit être de conserver des troupes valides pour les combats, et d'écarter d'elles toutes les causes de destruction qui ne résultent pas forcément du choc : il faut qu'il sache accepter les morts nécessaires et qu'il s'attache à éviter les morts inutiles.

Dans quelle mesure ce but peut-il être atteint? Dans une me-

sure énorme, à coup sûr, quand la conduite d'une guerre est confiée à des hommes prévoyants, intelligents, actifs, soucieux de la vie des soldats. De quoi s'agit-il en effet? de leur assurer une alimentation saine et suffisante, des vêtements, un personnel médical nombreux, expérimenté, et bien pourvu de tous les moyens de secours, de veiller à éteindre dès leur naissance les foyers de maladies contagieuses et de mesurer l'effort qu'on demande à une armée aux moyens de réparation qu'on peut lui offrir.

Si ces principes ne sont pas observés, les armées fondent comme la neige; avec une rapidité inconcevable pour ceux qui n'ont pas assisté à cet épouvantable spectacle, les hommes disparaissent par milliers. Là où était une armée nombreuse et homogène, il n'y a plus que des bataillons décimés et sans cohésion.

On peut affirmer, sans risque de se tromper, que les batailles qui sont devenues les plus funestes par l'inhabileté des chefs qui les livraient, ont causé moins de désastres que l'incurie de quelques jours qui a suivi une bataille heureuse.

Un bon général doit tout d'abord être un bon administrateur. Le capitaine par excellence des temps modernes, Napoléon, avait autant de souci de faire pourvoir tel corps d'armée de chaussures neuves que de le faire arriver à l'heure à sa place de bataille.

Aucune guerre n'a autant réveillé dans ces dernières années, le sentiment de charité pour le pauvre soldat que celle de Crimée; et quoique les associations qui se sont fondées depuis, pour assurer aux victimes de tous les champs de bataille les soulagements possibles, soient postérieures à la guerre d'Italie et à celle des États-Unis, la nécessité impérieuse d'introduire de profondes améliorations dans cette partie du service de l'armée française, était démontrée à tous ceux qui avaient assisté aux horreurs de la guerre d'Orient.

Imprégné de ces souvenirs pénibles, mûri par une longue expérience, M. le docteur Chenu, l'honneur de la médecine militaire française, au risque de briser une carrière déjà brillante, mais laborieusement acquise, a arraché le linceul qui cachait tant de martyrs inutiles, et dans un travail gigantesque, que l'aiguillon du devoir pouvait seul faire éclore, il a montré où était la cause du mal et où était le remède.

La guerre d'Orient a eu ses historiens militaires; on sait de

reste, quel renom de valeur l'armée française y a acquis. Ce que l'on sait moins, c'est l'histoire de ses souffrances obscures et de son admirable sérénité au milieu d'un effort long et monotone, où le combat éclatant, celui qui exalte et enivre, venait comme une fête trop rare.

Si l'on veut savoir ce qu'a coûté cette gloire, que l'on jette un coup d'œil sur le tableau suivant, emprunté à l'œuvre de M. Chenu [1].

L'effectif de troupes de terre envoyé en Orient, qui n'a jamais dépassé le nombre de 150,000 hommes présents à la fois, a été de 309,268 hommes. Les arrivées ont commencé le 1er avril 1854. Le rapatriement de l'armée a été terminé à la fin de juillet 1856.

	Entrés aux hôpitaux et ambulances.	Tués, morts, disparus.
Maladies diverses et choléra, du 1er avril au 20 sept. 1854. Le 1er engagement, (bataille de l'Alma) a eu lieu à cette dernière date.	18,973	8,084
Ambulances de Crimée et hôpitaux à distances de Constantinople.	221,225	29,095
Hôpitaux de Constantinople.	162,029	27,281
Tués par l'ennemi ou disparus.	»	10,240
Morts sans entrer aux ambulances. . . .	»	4,542
Morts en France après l'évacuation des hôpitaux d'Orient jusqu'au 31 déc. 1867.	»	15,025
Infirmeries de bord et hôpitaux de la flotte.	34,817	846
Perte de la frégate *la Sémillante*.	»	702
Total.	436,144	95,615 [2]

Que de souffrances, que de deuils quand il s'agit de 95,000 morts en deux ans, dont 10,000 seulement tombés sous les coups de l'ennemi ; tous les autres subissant une longue agonie dans des taudis décorés du nom d'ambulances ou d'hôpitaux, où, à certains moments, la paille ne pouvait être que parcimonieusement distri-

[1] Rapport au conseil de santé des armées sur les résultats du service médico-chirurgical pendant la campagne d'Orient en 1854-55-56. Paris, 1865.

[2] Pour arriver à dresser ses tableaux, l'auteur a suivi sur les différentes pièces qui accompagnent le soldat dans toutes ses mutations et dont un double est conservé au ministère de la guerre, l'histoire individuelle de tous les hommes qui ont été atteints par le feu ou par la maladie. On comprend l'immensité et la rigueur de ce travail qui a exigé le dépouillement de plus d'un million de pièces de service.

buée, et constituait un lit, où les cadavres, déjà rongés par les rats, gisaient encore parmi les vivants, parce que les hommes valides pour les porter hors des tentes, faisaient défaut. Que j'en ai vu de ces malheureux souffrir de la soif au milieu d'une fièvre ardente, parce que les vases nécessaires pour les faire boire étaient brisés ou perdus. La contagion frappant à grands coups ; plus de 80 médecins succombant en quelques semaines, ceux qui restaient, accablés de fatigue et en trop petit nombre, obligés chacun de soigner, de panser plusieurs centaines de malades.

Peut-on dire dans une pareille hécatombe combien il y a eu de morts inutiles, de celles qu'un ensemble de mesures administratives bien entendues aurait pu éviter.

De ce grand désastre est sorti un sévère enseignement, qui a été en grande partie mis à profit. L'autorité militaire a fait depuis, son possible pour augmenter son personnel médical, pour débarrasser son service d'entraves inutiles, pour améliorer l'alimentation et le vêtement du soldat, qui dès lors offrira moins de prise à la maladie.

Mais quelle que soit l'étendue de ses prévisions, l'administration d'une armée sera toujours prise au dépourvu le jour d'une bataille et lors de l'éclosion d'une épidémie.

Quand des milliers de blessés couvrent le champ de bataille, quand les ambulances sont remplies de cholériques ou de malades atteints du typhus, quand il faudrait des centaines de médecins, des milliers d'infirmiers, l'impuissance du personnel médical le plus nombreux qu'une armée puisse renfermer, devient évidente, et les malades périssent faute de soins.

C'est cette conviction qui a fait germer la pensée que des associations de secours, étrangères aux armées, mais nombreuses et bien pourvues, pourraient alors intervenir avec le plus grand avantage et concourir avec les institutions médicales militaires, pour arracher à la mort un plus grand nombre de victimes. C'est de cette pensée vraie, pratique et généreuse, qu'est issue la Société civile de secours aux blessés militaires dont nous allons étudier l'histoire et le fonctionnement.

II

Il a fallu bien des années pour que l'idée de neutraliser les malades, le personnel et le matériel qui concourent au service médical, s'imposât à la conscience publique, et devînt le point de départ d'un règlement de la charité à la guerre.

Ce sentiment si respectable et si simple de faire cesser l'état d'hostilité avec celui de l'impuissance dans la défense, est de date récente, et malgré quelques tentatives déjà anciennes, où l'on a cherché à soustraire les blessés et les malades à des agressions odieuses, leur neutralité effective n'est entrée que depuis peu, dans le droit des gens.

L'historique de ce mouvement d'opinions a été très-bien exposé par M. G. Moynier, auquel nous empruntons les citations suivantes[1] :

« Dans les guerres de la république, les marques distinctives que portaient les chirurgiens, destinées à mieux faire apercevoir aux blessés les divisions de service sur le champ de bataille, furent bientôt connues des batteries ennemies qui dirigeaient une partie de leurs coups contre ce nouveau genre d'audace. Il fallut dès lors renoncer aux signes trop visibles du parcours des ambulances volantes, qui revenaient souvent veuves de ceux qu'elles avaient conduits trop à la portée des projectiles[2]. »

Les pages de l'histoire, dit Percy, sont souillées par le souvenir des ordres barbares de quelques généraux qui ont fait massacrer ou empoisonner tous les blessés pour ne point les laisser à l'ennemi dans une retraite précipitée, et par ces scènes horribles, ce carnage affreux, ces massacres dignes de tigres, dont les hôpitaux français ont été le théâtre en Allemagne, en Italie et en Espagne, en particulier à Ciudad-Rodrigo et à Coïmbre[3].

« A la bataille de Ligny, le général Roguet prévint ses grenadiers que le premier qui lui amènerait un Prussien prisonnier se-

[1] *La neutralité des blessés et du service de santé*, par M. Gustave Moynier, Paris, 1867.

[2] Gama, *Esquisse historique du service de santé militaire*, p. 310, d'après M. Moynier.

[3] Laurent, *Histoire de Percy*, p. 200.

rait fusillé. Cet ordre ne fut que trop fidèlement exécuté, et bientôt suivi à Genappe de cruelles représailles[1].

« En Crimée, les batteries russes que les soldats alliés avaient surnommées Bilboquet et Gringalet, se signalèrent tristement après la bataille de Traktir, en faisant feu sur les médecins et infirmiers français occupés à relever et à panser les blessés russes. Un fait analogue s'était déjà produit après la bataille d'Inkermann[2]. »

Ces quelques citations démontrent amplement et à l'encontre de ce que l'on aimerait supposer, que tout restait à faire pour mettre les blessés à l'abri des mauvais traitements et leur assurer, à quelque parti qu'ils appartiennent, des secours uniformes.

L'idée d'un pacte international universel pour la neutralité des blessés, a été précédé par des traités temporaires et spéciaux, dont le travail de M. Moynier nous donne le récit intéressant. Nous croyons devoir lui emprunter ces actes avec leurs principaux détails, car ils renferment des principes qui ont servi à établir le traité qui régit depuis peu la charité des champs de bataille.

Il y a plus d'un siècle, en 1743, pendant la guerre de la succession d'Autriche, un traité fut conclu à Aschaffenbourg, peu de temps avant que le sort de la campagne eût été décidé dans les plaines de Dettingen (27 juin 1743), dans le but de protéger les blessés et les hôpitaux. Ce traité fut conclu entre l'armée austro-hanovrienne, sous le commandement du roi Georges II, représenté par le général en chef comte de Stair, et l'armée française qui, sous les ordres du maréchal de Noailles, venait d'envahir le Palatinat. « C'est à ces généraux, dit Gama, qu'en revient l'honneur et la priorité. » Le comte de Stair touché de l'espèce de barbarie qu'offraient les transports ou évacuations d'un hôpital sur un autre, pendant que l'armée anglaise qu'il commandait était campée à Aschaffenbourg, fit proposer au duc de Noailles, général français dont l'humanité lui était connue, de respecter et de protéger réciproquement les hôpitaux.

L'accord fut fait, et le duc de Noailles profita de la première occasion pour montrer combien il avait à cœur de l'observer religieusement. L'hôpital anglais était à Teckenheim, village situé sur le Mein ; le général français envoyant des troupes dans un village

[1] Charras, *Histoire de la campagne de* 1815.
[2] Baudens, *la Guerre de Crimée.*

voisin de celui-ci, sur la rive opposée, et craignant de mettre l'alarme parmi les malades qui l'occupaient, eut soin de les rassurer en leur faisant savoir qu'ayant appris que l'hôpital était dans ce village, il avait donné les ordres les plus exprès pour qu'ils ne fussent pas inquiétés par ses troupes.

L'étude de M. Moynier nous fait connaître encore un traité conclu à l'Écluse, en Flandre, le 6 février 1759 entre le marquis de Barrail, maréchal commandant de la province de Flandre au nom du roi de France, et Henry Seymour Conway, major-général au nom du roi de la Grande-Bretagne, qui contient des stipulations très-intelligentes relatives aux malades, aux blessés et à ceux qui leur donnent des soins ; ce traité a certainement dû servir dans la fixation de la convention de 1864.

Sept mois après, le 1er septembre 1759, un cartel, dont le but était également de respecter les blessés et les malades, était signé à Brandebourg entre le marquis de Rougé, maréchal de camp des armées du roi de France, et le baron de Buddenbrock, général major du roi de Prusse. Ce traité fut ratifié le même jour par Frédéric, et le 19 septembre par Louis XV.

Ces conventions furent bien rapidement perdues de vue, et dans un mémoire sur les hôpitaux militaires qui parut vers 1764, M. de Chamousset, intendant général des armées, croit innover en s'exprimant de la façon suivante :

« Je crois devoir à l'humanité en général une réflexion sur le respect que les nations devraient accorder à ces asiles sacrés, où le vertueux défenseur de la patrie va chercher la guérison d'une blessure dont la cause est si noble. Il est des pays où les criminels trouvent une retraite assurée dans les temples : les plus cruels ennemis se secourent lorsqu'ils sont blessés. La politique assure la liberté à ces troupes qui sont destinées à maintenir la police et le bon ordre dans les armées, et des blessés sont obligés de fuir un ennemi qui ne devrait plus voir en eux que des hommes frères, puisqu'ils sont hors de défense !... »

« On ne devrait donc pas regarder les hôpitaux comme des conquêtes et les malades qu'ils renferment comme des prisonniers. A combien de millions de malades ou de blessés la crainte de tomber sous la puissance de l'ennemi n'a-t-elle pas coûté la vie? Les évacuations font périr un nombre infini de malheureux qu'on aurait sauvés s'ils fussent restés dans le lieu où ils avaient été dépo-

sés d'abord. Comment est-il possible que des nations policées ne soient pas encore convenues de regarder les hôpitaux comme les temples de l'humanité, qui doivent être respectés et protégés par les vainqueurs? La voix d'une police inquiète devrait-elle l'emporter sur le cri de la sensibilité qui réclame des droits si sacrés? Dans un siècle où l'on a tant gagné du côté de l'esprit et des lumières, ne devrait-on pas prouver qu'on n'a rien perdu du côté du cœur et des sentiments, et le moment ne serait-il pas venu d'établir parmi les nations une convention réclamée par l'humanité? »

Plus d'un siècle devait s'écouler avant que le vœu du ministre de Louis XV ne fût exaucé.

Pourtant Peyrilhe, qui connaissait le traité de 1743, écrivait encore en 1780 : « Aujourd'hui les souverains ne devraient-ils pas convenir entre eux, par une loi non moins sacrée que celle de prendre soin des malades ennemis faits prisonniers, que les hôpitaux militaires seront de part et d'autre des asiles inviolables pour les malades et pour ceux qui les servent; qu'ils seront regardés comme des sanctuaires dont il n'est pas permis d'approcher les armes à la main ; enfin, que ceux qui les habitent ne seront pas réputés prisonniers et n'entreront point dans la balance des échangés ? »

L'illustre Percy, le chirurgien en chef des armées de la république, tenta de faire renouveler un de ces pactes de charité et rédigea en 1800 le projet de convention qu'on va lire. Il le fit approuver par son chef, le général Moreau ; celui-ci, à son tour, l'envoya à son adversaire, le général Kray. Il était ainsi conçu :

« Le général Kray, commandant l'armée autrichienne, et le général Moreau, commandant l'armée française, désirant diminuer autant que possible les malheurs de la guerre et adoucir le sort des militaires blessés dans les combats, sont convenus des articles suivants :

« Article premier. — Les hôpitaux militaires seront considérés comme autant d'asiles inviolables, où la valeur malheureuse sera respectée, secourue et toujours libre quelle que soit l'armée à laquelle ces hôpitaux appartiennent et sur quelque terrain qu'ils soient établis.

« Art. 2. — La présence de ces hôpitaux sera indiquée par des écriteaux placés sur les chemins aboutissants, afin que les

troupes n'en approchent point et qu'en passant elles observent le silence et fasse cesser le bruit des tambours et instruments.

« Art. 3. — Chaque armée restera chargée de l'entretien de ses hôpitaux après avoir perdu le pays où ils existent, comme si ce pays était encore en son pouvoir. Les effets continueront à lui appartenir; les dépenses seront à son compte; rien ne sera changé au régime de ces établissements, et la consigne donnée à la sauvegarde sera concertée entre les chefs du service et le commandant du poste étranger.

« Art. 4. — Les armées favoriseront réciproquement le service des hôpitaux militaires situés dans les pays qu'elles viendront à occuper. Elles feront fournir par les habitants ou fourniront elles-mêmes tous les objets nécessaires aux blessés et aux hospitaliers, sauf à s'en faire rembourser le montant ou même à retenir des otages ou des effets jusqu'à ce que le payement des avances soit effectué.

« Art. 5. — Les militaires guéris de leurs blessures seront renvoyés à leurs armées respectives avec une escorte qui leur fera fournir en chemin des vivres et des voitures et les accompagnera jusqu'aux avant-postes de l'armée où ils se rendront. Il sera de même accordé une escorte pour protéger, lors de l'évacuation complète de l'hôpital, les convois de voitures sur lesquelles on aura chargé les effets, si ceux-ci n'ont point été retenus pour garantir l'acquittement des dépenses faites pour ledit hôpital.

« La présente convention, seulement applicable aux militaires blessés, sera publiée à l'ordre des deux armées et lue dans chaque corps deux fois par mois. L'exécution de ces articles est recommandée à la loyauté et à l'humanité de tous les braves, et chaque armée promet de faire punir exemplairement quiconque y contreviendrait. »

Malheureusement le général autrichien n'accepta pas la généreuse proposition faite par Moreau.

Cet insuccès semble avoir découragé pour longtemps, dit M. Moynier, les partisans de la neutralité, et il clôt en quelque sorte une première période de son histoire, qui s'étend de 1743 à 1800 et embrasse les précurseurs lointains de l'œuvre accomplie en 1864.

III

Le pacte de neutralité des blessés et des malades qui depuis quelques mois à peine lie presque tous les gouvernements de l'Europe a pris sa source dans les efforts tentés en 1861 par M. Palasciano devant l'Académie de Naples, et par M. H. Dunant, chez lequel le spectacle des horreurs du champ de bataille de Solferino et l'abandon des blessés, avaient fait éclore une vocation apostolique pour cette noble cause.

Il parvint à faire partager son émotion à ses concitoyens de Genève; la Société d'utilité publique s'empara de la question en février 1863 et résolut de provoquer une conférence internationale.

Elle fit appel à tous les gouvernements de l'Europe et leur proposa de mettre à l'étude les conditions nécessaires pour arriver à faire déclarer la neutralité des blessés et du personnel médical.

Presque toutes les puissances adhérèrent en principe à cette proposition et envoyèrent des délégués à Genève.

La commission se réunit le 26 octobre 1863 et ses résolutions furent ratifiées l'année d'après (22 août 1864) par les souverains de Bade, de Belgique, de Danemark, d'Espagne, de France, d'Italie, des Pays-Bas, de Portugal, de Prusse, de Wurtemberg, par la Confédération suisse, sous le titre de convention pour l'amélioration du sort des militaires blessés dans les armées en campagne.

Depuis le 22 août 1864, des adhésions complémentaires au traité ont été reçues par la Suède, la Grèce, la Grande-Bretagne, la Turquie, la Bavière, l'Autriche.

La Russie seule, en Europe, n'a pas cru devoir jusqu'à ce jour s'engager dans cette ligue de la charité.

L'impulsion donnée à Genève, et qui faisait accepter la neutralité des blessés par la plupart des États de l'Europe, faisait naître en même temps des sociétés privées de charité et d'assistance pendant la guerre.

Un grand exemple de charité, de générosité et d'efficacité avait été donné aux États-Unis par la société privée, qui, sous le nom de Commission sanitaire, avait fourni à tous les besoins des

blessés et des malades pendant cette longue et terrible guerre de sécession. Sans caractère officiel, ne tirant sa force et son droit que de ses sentiments d'humanité, cette société avait fonctionné de la façon la plus utile à côté des institutions médicales et administratives de l'armée et avait trouvé dans l'élan patriotique des États du Nord des ressources immenses tant en argent qu'en objets de diverse nature. Ce sont des centaines de millions que la générosité publique a mis à la disposition de la commission[1].

C'est en Prusse que se formèrent les premières institutions privées de secours aux blessés militaires. La guerre était-elle pressentie depuis longtemps? Cela est possible. Toujours est-il que le roi de Prusse reconnut à ces sociétés un caractère d'utilité publique et encouragea leur organisation. Elles devaient bientôt trouver une occasion de fonctionner. Après la bataille de Sadowa et le combat de Langensalza, le comité civil prussien concourut avec les médecins militaires à assurer des secours aux blessés des deux camps. Cette intervention eut une utilité incontestable, et la formation de sociétés semblables a été encouragée depuis et patronée par presque tous les souverains d'Europe.

Les femmes se sont associées à cette œuvre, et à la bataille de Sadowa la reine de Prusse portait les insignes adoptés par la conférence de Genève pour distinguer son œuvre.

En France, l'impératrice a accepté la présidence de la société française.

Les sociétés des différentes nations sont aujourd'hui presque complétement organisées, et il n'est pas douteux que, si la guerre venait à éclater, elles rendraient d'immenses services sur le champ de bataille et dans les hôpitaux.

Le traité de 1864 vient d'être modifié sur la proposition d'une commission de délégués que les puissances contractantes avaient envoyés à Paris pour l'Exposition.

Cette commission internationale, composée de médecins, d'officiers et d'administrateurs, avait à poursuivre un double but : elle devait étudier et proposer l'adoption de toutes les mesures qui pourraient contribuer à assurer les secours les plus efficaces sur le champ de bataille et dans les hôpitaux provisoires, et elle

[1] Voyez le livre si intéressant du docteur Th. Evans, *la Commission sanitaire des États-Unis*. Dentu, 1867.

était autorisée en outre à introduire des modifications dans le traité de 1864.

La multiplicité des objets destinés à l'assistance sur le champ de bataille que la Société de secours aux blessés avait réunis dans un enclos spécial de l'Exposition universelle de 1867 offrait une occasion excellente pour étudier comparativement tous les moyens usités jusqu'à présent ou nouvellement proposés pour relever, transporter et panser rapidement les blessés. Notre administration de la guerre avait exposé tout son matériel; l'Italie, la Prusse, les États-Unis, etc., avaient envoyé le leur. Des modèles nouveaux figuraient à côté de ceux que l'usage avait consacrés.

Le comité international s'est constitué sous la présidence du général duc de Fézensac, et s'est divisé en trois sections présidées par le docteur Mundes, le comte de Breda, le comte Sérurier.

La première section avait pour mission d'étudier la partie scientifique applicable aux secours à donner aux blessés.

La deuxième section devait résoudre toutes les questions relatives à la législation et à l'administration de l'œuvre. La révision de la convention de 1864 lui était notamment dévolue.

La troisième section devait s'occuper de fixer les moyens de tenir à jour l'état civil des blessés et des malades, de leur rapatriement, des secours à faire parvenir aux prisonniers, de régler la comptabilité et d'assurer les revenus de l'œuvre.

Les travaux de la première section sont ceux qui offrent l'intérêt le plus direct.

Après avoir incidemment discuté la question de la désinfection du champ de bataille et l'avoir résolue en offrant aux chefs des armées le concours de la Société et l'emploi du permanganate de potasse, elle a abordé l'étude des engins qui servent au transport des blessés.

Ces moyens sont : 1° le brancard, au moyen duquel deux hommes relèvent et transportent le blessé ; 2° la voiture destinée à recevoir un certain nombre de blessés et à les transporter à l'ambulance la plus voisine.

Sans vouloir ici entrer dans des détails qui nous entraîneraient trop loin, il est bon de constater que l'ancien matériel français, brancard et voiture, a été complétement abandonné et reconnu comme très-inférieur à tous les moyens analogues employés dans d'autres armées.

L'ancien brancard français était constitué par un morceau de forte toile double dans les bords de laquelle on introduisait deux bâtons de bois. Il fallait deux hommes robustes pour porter un blessé, et quand la distance à parcourir était grande, le but était rarement atteint sans que le malade ne fût une ou deux fois posé à terre. La commission a écarté ce modèle devant le brancard prussien à roues qui peut être démonté, servir comme l'ancien brancard français pour les courtes distances ou être traîné par un ou deux hommes, ou encore être attaché à une voiture.

Ce dernier brancard à roues a encore été modifié par un membre de la commission, le docteur Gauvin, en ce sens qu'il a introduit une disposition qui permet d'accrocher ce brancard nouveau sous toute espèce de voiture ou de charette, et de le placer dans les wagons de chemin de fer. C'est ce dernier modèle que la commission a adopté pour la Société de secours aux blessés.

Nos voitures d'ambulance n'ont pas trouvé non plus grâce devant la commission ; c'était toute justice. Qui ne se rappelle, en effet, avoir vu passer dans les rues, conduites par des soldats, de lourdes voitures basses, hermétiquement fermées et qui portaient tracé sur leur flanc leur appellation : ambulance de l'armée. C'était plutôt une casemate qu'un moyen de transport pour les blessés qui ont besoin d'air et d'espace.

Ce modèle condamné sera remplacé par une voiture prise à la commission sanitaire des États-Unis, très-légère, ouverte et infiniment commode pour recevoir six blessés couchés et deux assis à côté du cocher.

La question si importante de savoir si la tente est un abri préférable à la baraque dans les ambulances françaises, est restée sans solution. Les médecins français ont trouvé plus d'avantages à la tente qu'à la baraque. Les avantages de la première sont de rendre l'aération plus facile et de limiter la contagion. Les inconvénients sont d'offrir trop peu d'espace aux blessés et de rendre le service très-difficile. Les médecins prussiens accordent la préférence à la baraque dont on s'est beaucoup servi dans la dernière guerre [1].

[1] Voyez les procès-verbaux de la conférence internationale de la Société de secours aux blessés militaires, et les articles du docteur Piolrowski, publiés dans la *Revue contemporaine*, 15 juillet et 15 novembre 1867.

Il serait imposible de suivre la première section dans ses études spéciales sur les modes de pansement, les instruments de chirurgie les plus simples, les membres artificiels, etc.

La deuxième section, chargée de la mission importante de réviser la convention, y a introduit l'existence officielle des sociétés de secours civiles (art. 4) et a adopté définitivement un traité qui, par son importance dans les futures guerres, mérite d'être signalé intégralement.

Voici le texte nouveau :

Article premier. — Les ambulances, les hôpitaux et tout le matériel destiné à secourir les blessés seront neutres et comme tels protégés et respectés par les belligérants.

Art. 2. — Le personnel des hôpitaux et des ambulances, comprenant les services de santé, d'administration et de transport, ainsi que l'assistance religieuse, participeront au bénéfice de la neutralité.

Art. 3. — Les personnes désignées dans l'article précédent pourront, si elles tombent dans les mains de l'ennemi, continuer à remplir leurs fonctions dans l'hôpital ou l'ambulance qu'elles desservent; soumises à l'autorité de l'ennemi, elles conservent leur traitement complet. Elles pourront aussi se retirer pour rejoindre leur corps dès que les circonstances le permettront et du consentement des deux parties.

Art. 4. — Les membres des sociétés de secours aux blessés militaires des armées de terre et de mer de tous pays, de même que leur personnel auxiliaire et leur matériel, sont déclarés neutres.

Les sociétés pourront envoyer des délégués qui suivront les armées sur le théâtre de la guerre et seconderont les services sanitaires et administratifs dans leurs fonctions.

Elles auront, en particulier, le droit d'envoyer un représentant auprès des quartiers généraux des armées respectives.

Art. 5. — Les habitants du pays, ainsi que les infirmiers volontaires qui porteront secours aux blessés seront respectés et protégés. Tout blessé recueilli et soigné dans une maison y servira de sauvegarde. L'habitant qui aura recueilli chez lui des blessés sera dispensé autant que possible du logement des troupes et de tout ou partie des contributions de guerre.

Art. 6. — Les militaires blessés ou malades seront recueillis et soignés à quelque nation qu'ils appartiennent.

Tout blessé est déclaré neutre et devra, s'il tombe entre les mains de l'ennemi, être remis aux autorités civiles ou militaires de son pays pour être renvoyé dans ses foyers.

Cette restitution s'opérera dès que les circonstances le permettront et du consentement des deux parties.

Les convois du service de santé, avec le personnel qui les dirige, seront couverts par une neutralité absolue.

Art. 7. — Un drapeau distinctif et uniforme est adopté par les hôpitaux, les ambulances, les dépôts de matériel et les convois du service de santé. Il devra être en toute circonstance accompagné du drapeau national. Un brassard sera également admis pour le personnel neutralisé, mais la délivrance en sera laissée à l'autorité militaire. Le drapeau et le brassard porteront une croix rouge sur fond blanc.

Art. 8. — Les hautes puissances contractantes s'engagent à introduire dans leurs règlements militaires les modifications devenues indispensables par suite de leur adhésion à la présente convention. Elles en ordonnent l'explication aux troupes en temps de paix et la mise à l'ordre du jour en temps de guerre.

Les commandants en chef des armées belligérantes veilleront à la stricte observation de la convention et en régleront à cet effet les détails d'exécution.

Qui ne voit le bienfait énorme qui résultera pour les malheureuses victimes de la guerre de l'application de ces nouvelles règles. L'armée vaincue n'aura plus à compromettre sa retraite pour arracher ses blessés aux cruautés ou au moins à l'abandon.

Les médecins des deux armées, en offrant en commun leur dévouement, leur science et leur matériel pour le soulagement des blessés, l'assistance si précieuse de médecins et d'infirmiers volontaires qu'enverront sur le champ de bataille les sociétés de charité et l'élan individuel, transformeront totalement le service médical si incomplet et les secours si parcimonieux, qui jusqu'à présent étaient offerts aux blessés et aux malades.

Il faut avoir vu ces horribles scènes d'ambulance où les blessés, couchés en rangs serrés les uns contre les autres, attendent avec une impatience qui se traduit souvent par des imprécations vio-

lentes, que le couteau du chirurgien vienne abattre un membre lacéré et saignant. Combien sont morts avant que leur tour n'ait pu être atteint; que de membres ont dû être sacrifiés parce que le temps ou l'insuffisance d'aides et de matériel ne permettaient pas de tenter l'emploi de moyens de traitement moins cruels et dont le succès eût été probable dans des circonstances normales.

Par le régime nouveau, la chirurgie hâtive, implacable, mais nécessaire alors, disparaîtra certainement, et s'il est malheureusement moins possible que jamais, d'entrevoir la cessation des guerres, on peut être certain que les morts inutiles deviendront de moins en moins nombreuses.

J. Worms.

II

NOTICES BIOGRAPHIQUES

VELPEAU

L'année 1867 est une année de deuil pour la médecine française; elle voit s'éteindre presque en même temps ses représentants les plus illustres et ceux qui donnaient le meilleur espoir de le devenir. Après Malgaigne et Jobert, après Rostan et Trousseau, Velpeau succombe, presque en même temps que Rayer, et rejoint dans l'éternel repos ses élèves déjà éminents et tant regrettés Follin et Foucher.

Velpeau dut tout au travail. Pauvre, sans instruction, sans aucun de ces dons naturels qui suffisent parfois à faire le succès et qui y contribuent toujours, il sut conquérir par sa persévérante énergie les honneurs, la renommée, le respect. Sa vie est d'un bout à l'autre la démonstration saisissante du vieux proverbe : Le travail acharné triomphe de tout.

Alfred-Armand-Louis-Marie Velpeau naquit le 18 mai 1795 à Brèche, dans le département d'Indre-et-Loire. Son père, maréchal ferrant et quelque peu vétérinaire, avait pris toute sa science dans deux vieux livres : un *Traité d'hippiatrique* et un *Médecin des pauvres*. Leur lecture initia le jeune Velpeau à l'étude de la

médecine et lui révéla sans doute sa véritable vocation. A dix-sept ans, il aidait son père, soignait les animaux et de temps à autre donnait quelque bon conseil à un voisin pour un coup, une plaie ou un mal d'aventure.

La jeunesse s'avançait cependant et les jours se ressemblaient. Par bonheur, le docteur Bretonneau, déjà célèbre à Tours et dans toute la Touraine, eut l'occasion de venir à Brèche visiter un malade. Il vit le jeune homme, fut frappé de son intelligence, de son bon sens, de cette âpre volonté qui lui avait déjà procuré une instruction grossière, mais supérieure à ce qu'on pouvait attendre dans de pareilles conditions. Sans hésiter, il l'attire à Tours, et, avec une sorte de pressentiment, lui indique les premiers pas à faire dans la voie des études médicales.

Velpeau avait alors vingt et un ans. Il avait presque tout à apprendre; à peine savait-il sa langue. Au bout de quelques mois, il put cependant être admis comme élève à l'hôpital ; il y était bientôt interne, et, en 1818, il devenait premier élève avec 200 francs d'appointements. Ce chétif traitement lui permettait de prendre le titre d'officier de santé, de voir quelques malades et de réaliser des économies.

Dans le courant de 1819, il arrivait à Paris avec un capital de 400 francs, toute sa fortune et tout son espoir. Il allait se heurter à la grande pierre de touche, la misère, qui faillit l'écraser. Mais sa poitrine était garnie de l'*æs triplex* du poëte. D'ailleurs ses maîtres de l'hôpital de Tours ne l'oubliaient pas ; il trouva à remplacer un camarade dans son service d'hôpital, quelques répétitions à donner : c'était le salut. En 1821, il était lauréat de l'École pratique de la Faculté, et, au bout de peu de mois, aide d'anatomie. Deux ans après, en 1823, il subissait sa thèse de docteur en médecine, à l'âge de vingt-huit ans.

En sept ans, le maréchal de village était devenu docteur en médecine de la Faculté de Paris. Pour d'autres, c'eût été le terme atteint, le rêve réalisé ; pour Velpeau c'était seulement un début. Début terrible, il est vrai, car les deux plus grandes ennemies de l'homme, l'ignorance et la misère, gardaient l'entrée de la carrière ; mais il avait vaincu l'une et l'autre par le travail et la volonté, et désormais il savait comment on triomphe des obstacles.

A cette époque, Velpeau était indécis sur la route qu'il allait suivre. Il venait d'être élu agrégé dans la section de médecine au

premier concours de l'agrégation (1823) ; un peu de recueillement lui était nécessaire. Les soucis de la vie matérielle, la nécessité d'acquérir une instruction plus vaste et d'harmoniser ses connaissances ne lui laissaient d'autre ressource que le travail solitaire et l'espoir, alors lointain, de le mettre à profit.

Cet espoir devait se réaliser largement quelques années plus tard. Connu par de nombreux mémoires sur différents points de la chirurgie ou de l'art des accouchements et par un *Traité d'anatomie chirurgicale*, dont les deux volumes avaient successivement paru en 1825 et 1826, Velpeau était désigné par l'opinion publique du corps médical pour diriger un service d'hôpital. En 1830, il fut nommé chirurgien de la Pitié.

Une carrière plus brillante et plus conforme à ses justes désirs allait d'ailleurs s'ouvrir devant lui. Après une lacune de quinze ans, le gouvernement de Juillet s'était empressé de rétablir le concours pour les places de professeurs à la Faculté de médecine. Cette belle institution, créée par le premier Empire, abolie par la Restauration, rétablie de 1830 à 1851, devait avoir l'étrange destinée de disparaître sous le second Empire, comme elle avait disparu sous la Restauration. Le mouvement des esprits la rappelle, et tout fait présumer qu'après ces expériences réitérées et peu profitables on y reviendra définitivement comme au plus sûr moyen d'assurer l'excellence et l'impartialité des nominations.

L'ordonnance du 5 octobre 1830 modifiait profondément l'organisation et le personnel de la Faculté de médecine. Non-seulement le concours était rétabli, mais les professeurs, directement nommés en 1823, étaient révoqués de leurs fonctions. Il allait donc y avoir de nombreux vides à remplir, et tous ceux qui se sentaient du savoir et de l'énergie se préparaient à descendre dans l'arène.

Velpeau s'inscrit pour tous les concours qui touchent à ses vastes connaissances. Dès 1831, il dispute la chaire de pathologie externe et la chaire de physiologie. MM. Jules Cloquet et Pierre Bérard l'emportent. En 1833, une nouvelle chaire de pathologie externe devient vacante ; les titres et les épreuves des candidats qui devaient tous devenir professeurs, s'équilibrent presque complétement. Enfin, le sort est favorable à Gerdy. L'année suivante, nouveau concours pour la chaire de clinique d'accouchements ;

Velpeau lutte, mais il est obligé de céder devant un compétiteur fin, élégant, instruit, M. Paul Dubois.

Presque en même temps, la mort de Boyer laissait vacante une chaire de clinique chirurgicale. C'est à ce concours que Velpeau devait enfin recueillir le prix de ses travaux et de ses luttes. Le 6 août 1834, il était proclamé professeur de clinique chirurgicale, et bientôt il prenait possession d'une chaire qu'il devait occuper pendant plus de trente ans, jusqu'au jour de sa mort.

Au milieu de ces luttes retentissantes, l'Académie de médecine l'avait appelé dans son sein. Il faisait partie de cette savante compagnie depuis 1832.

Il ne manquait plus qu'un fleuron à cette couronne : c'était le titre de membre de l'Académie des sciences. En 1842 la couronne était complète, Velpeau prenait la place de Larrey à l'Institut.

C'était l'apogée de cette laborieuse et belle carrière. Boyer et Dupuytren étaient morts, Gerdy avait une santé chancelante, Blandin, Sanson, Bérard jeune étaient encore au second plan, Velpeau se plaçait au premier, à côté de son vieux et honoré maître Roux, et bientôt même il devenait le représentant le plus illustre et le plus actif de la chirurgie française.

Cette situation exceptionnelle lui attira une vaste clientèle. Recherché par le monde pour ses lumières, appelé fréquemment par les médecins de Paris, de la France et de l'étranger pour juger les cas difficiles ou pour pratiquer des opérations importantes, il fut, pendant de longues années, le chirurgien le plus occupé de Paris. De là une fortune considérable pour sa profession.

Malgré cette haute position, Velpeau n'oublia jamais son origine. Il en parlait avec convenance et enjouement. Peu de temps avant sa mort, visitant le grand hôpital de Brest, on lui indiquait les grades militaires auxquels correspondent les titres des médecins de la marine. « J'aurais donc pu, dit-il, commander mon régiment de médecine si le hasard de ma carrière m'avait fait servir dans la marine? — Vous y seriez devenu maréchal, lui fut-il répondu. — C'eût été drôle de finir par où j'avais commencé. » Cette forte nature avait la petite et innocente faiblesse des jeux de mots.

Velpeau était de taille moyenne, maigre, sec, un peu roide, d'un geste facile mais sans expression, le front haut, l'œil profond caché sous des sourcils saillants, la parole un peu saccadée

mais précise et fixant l'attention. Affectueux et dévoué dans ses rapports intimes, il laisse une pléiade d'élèves tous reconnaissants, et dont plusieurs occupent des positions éminentes. C'était un de ses bonheurs d'être entouré, dans les sociétés savantes ou dans les académies, de ses successeurs de tout âge, qui lui donnaient le nom de maître. On peut dire que c'était un juste mais grand honneur; l'hommage spontanément rendu au mérite et à la droiture. Cela ne s'impose pas, et il s'en faut que tous l'obtiennent.

Habile dans la recherche, l'analyse et le diagnostic des maladies, opérateur tenace et prudent, ne se risquant qu'aux hardiesses utiles, guidé par des connaissances anatomiques exactes, le professeur de la Charité était, au point de vue de la pratique chirurgicale, un homme de premier ordre. Son enseignement a rendu d'immenses services aux nombreuses générations d'élèves qui l'ont suivi. Quoique sa méthode fût un peu sèche et qu'il la suivît avec un trop constant attachement, néanmoins il faisait bien ressortir la valeur des faits, leurs particularités, leur enchaînement; il savait faire pénétrer dans l'esprit de ses auditeurs les difficultés de la pratique et les ressources dont elle dispose.

Velpeau n'était pas orateur dans le véritable sens du mot. Il n'avait ni l'instruction littéraire étendue, ni la souplesse des formes, ni ce souffle inné qui passionne l'auditoire; il était loin de la fougue sombre de Gerdy ou de la verve sarcastique de Malgaigne, ses collègues tous deux; mais sa parole aisée et parfois malicieuse, sa dialectique nourrie, méthodique, judicieuse entraînaient les opinions hésitantes et même les convictions opposées. C'est par là qu'il obtint de justes triomphes dans plusieurs discussions mémorables de l'Académie de médecine, notamment dans celles qui eurent lieu sur la lithotritie, l'anatomie pathologique du cancer, la ténotomie, les accidents secondaires de la syphilis.

Il était esclave de ses devoirs. L'enseignement, l'hôpital, les académies le trouvaient toujours exact et ponctuel; il savait subordonner les exigences de la clientèle et celles de la vie privée à ses obligations publiques. Pendant plus de vingt ans, il fit son service d'hôpital sans prendre un seul jour de repos. Dans ces dernières années, ses courtes vacances lui semblaient encore trop longues, et souvent il revenait avant l'époque convenue.

Cependant cette santé robuste dans un corps un peu frêle avait

reçu quelques légères atteintes depuis deux ans. Velpeau se roidissait, il s'attachait à ses habitudes, recherchait les jeunes gens; suivant son mot, ayant vécu vieux, il voulait mourir jeune. Le mal passait et la sérénité revenait.

Ces assauts provoqués par une affection vésicale se renouvelèrent plus fréquemment pendant l'été de 1867. L'illustre malade les supportait solitairement avec un courage stoïque; il ne voulait pas être malade et reparaissait dans la vie aussitôt que la griffe de douleur le quittait. Ses plus intimes amis ignoraient des souffrances si complétement dissimulées. Sa maladie et sa mort furent connues en même temps.

Le 18 août, il lui avait fallu prendre le lit, et, malgré les soins dévoués de MM. Nélaton et Barth, il expirait le 24 août, à dix heures du matin, murmurant encore dans le délire ces mots, qui ont été toute sa vie : « Il ne faut pas être paresseux; travaillons toujours. »

Velpeau a beaucoup écrit; peut-être même peut-on dire que dans sa jeunesse il écrivit trop. Les recueils périodiques et les dictionnaires contiennent un grand nombre de mémoires, d'articles ou de monographies dus à sa plume. En 1840, il fonda les *Annales de la chirurgie française et étrangère* avec MM. Bégin, Vidal (de Cassis) et Marchal (de Calvi), et dirigea cette importante publication jusqu'en 1845, époque où elle cessa de paraître.

Tout cela ne constitue cependant que la plus petite partie de son bagage littéraire. Ses livres appartiennent les uns, et c'est le plus grand nombre, à la chirurgie, les autres à l'art des accouchements.

Ces derniers, composés surtout en vue des vacances qui eurent lieu en 1830 et 1834 dans les chaires de Théorie et de Clinique obstétricales, comprennent un *Traité de l'art des accouchements*, en deux volumes; une étude sur le développement de l'embryon publiée sous ce titre : *Embryologie ou Ovologie humaine, contenant l'histoire iconologique de l'œuf humain*, avec 15 planches; une thèse sur les *Convulsions, avant, pendant et après l'accouchement*, enfin un *Mémoire sur les positions vicieuses du fœtus*. Sans avoir la valeur des œuvres chirurgicales, ces travaux ont cependant marqué leur place dans la science, et il n'est guère d'auteur qui n'ait eu à compter avec les opinions ou les idées de Velpeau en matière d'obstétrique, soit pour les approuver ou pour les combattre, et souvent pour les invoquer à titre de secours.

Déjà nous avons mentionné le *Traité d'anatomie chirurgicale* en deux volumes. Ce livre, qui eut trois éditions, a rendu de grands services aux étudiants et aux chirurgiens. Dépassé depuis son apparition par plusieurs traités analogues plus précis dans les descriptions ou plus riches de déductions appliquées, il eut le mérite d'être le premier livre de ce genre écrit dans l'esprit de la science moderne. A la fin du dernier siècle, Palfyn avait ébauché l'idée, Béclard l'avait reprise dans son enseignement oral; Velpeau la réalisa. Ce livre était suivi, en 1830, de : *Recherches sur la cessation spontanée des hémorrhagies traumatiques primitives*, et deux ans plus tard des *Nouveaux éléments de médecine opératoire*, publiés en trois volumes, puis réédités en quatre.

Ce vaste travail, composé un peu trop à la hâte et dans lequel les recherches d'érudition ne sont pas soumises à un contrôle rigoureux, était cependant une précieuse acquisition pour les chirurgiens. Les opérations y sont étudiées dans tous leurs détails en tant que manœuvres, et de plus dans leur histoire, dans leurs résultats immédiats et même quelquefois dans leurs résultats éloignés. Disons cependant que ce dernier point de vue préoccupait moins nos prédécesseurs que nos contemporains. C'est surtout depuis quinze ou vingt ans que la chirurgie est entrée dans cette belle voie de demander à ses méthodes et à ses procédés non-seulement une utilité apparente ou illusoire, mais une utilité réelle, définitive; d'oser tout ce qui est utile et de rejeter sans merci tout ce qui est trompeur. Sans doute, cela on l'a voulu de tout temps, mais ce temps-ci l'a mieux étudié et mieux connu.

Notons pour mémoire deux volumes de *Leçons de clinique chirurgicale* et un court *Manuel pratique des maladies des yeux*.

En 1853, Velpeau fit paraître son *Traité des maladies du sein*, réédité en 1858, livre remarquable où l'auteur se montre avec toutes ses qualités premières et une vaste expérience acquise. Ici il parle au nom de sa propre observation; il expose avec précision, avec méthode des faits longuement contrôlés et maintes fois confirmés, et s'il cite l'opinion d'autrui, ce qui lui arrive souvent, c'est pour la soumettre à l'épreuve de la critique la mieux fondée. Ce livre est assurément ce qui vivra le plus longtemps dans l'œuvre de Velpeau.

A côté de ces vastes publications, il nous faut citer encore plusieurs mémoires d'une valeur réelle. Tels sont une thèse de

concours sur la *Contusion dans tous les organes* (1833), une autre sur les *Plaies de tête et les cas qui exigent l'opération du trépan* (1834). Cette dernière termine le concours où l'auteur fut nommé professeur à la Faculté.

Ce sont des *Recherches sur les cavités closes, naturelles ou accidentelles de l'économie animale* qui ouvrirent à Velpeau les portes de l'Institut. C'est là qu'il exposa les avantages des injections iodées dans les cavités séreuses, synoviales et dans les bourses muqueuses accidentelles ; précieux moyen dont la chirurgie use aujourd'hui largement.

Velpeau a singulièrement contribué à vulgariser les bandages dits inamovibles dans le traitement des fractures. Il préconisait surtout la solution de dextrine pour solidifier ses appareils. Notes, articles de journaux, leçons, thèses de doctorat soutenues par ses élèves lui servaient à répandre ses utiles idées sur ce point de la pratique. De même, il enseignait l'utilité de la compression à l'aide de bandages dans un certain nombre d'affections inflammatoires, moyen souvent efficace, quelquefois héroïque, comme on dit dans le langage médical.

Bornons-nous à cette rapide énumération. Nous n'écrivons ici ni un article bibliographique, ni un éloge académique, mais nous avions à cœur de prouver la vérité de nos premières paroles, à savoir, que Velpeau éleva sa renommée pièce à pièce, par un labeur sans trêve.

U. Trélat.

TROUSSEAU

De toutes les qualités qui distinguèrent Trousseau, il en est deux qui suffirent pour lui assurer le premier rang parmi ses émules : ce furent son double talent de professeur et de médecin pratiquant.

Professeur, il a passionné plusieurs générations d'élèves, amoureux de sa parole imagée, pénétrante, qui gravait dans l'esprit en traits ineffaçables les impressions que le maître ressentait au lit du malade. Médecin, il a conquis une notoriété qui dépassa ce

que l'on rapporte du plus favorisé de ses prédécesseurs. Ces succès furent légitimes, car plus que tout autre Trousseau s'est dévoué pour les malades et a su utiliser leur étude pour l'instruction des élèves; ce fut chez lui affaire de sentiment, il aimait également l'élève et le malade.

Né à Tours le 14 octobre 1801, Trousseau fut élève de cette école, où Bretonneau eut le bonheur de former quelques-uns de nos maîtres, il y prit cet amour de la médecine qui ne l'abandonna jamais. « Il semble étrange aux yeux du monde, disait-il quarante ans plus tard, d'entendre des médecins parler du charme qui accompagne l'étude de notre art. L'étude des lettres, de la peinture, de la musique, ne donne pas de jouissances plus vives que celle de la médecine, et celui-là doit renoncer à notre profession qui n'y trouve pas dès le début de la carrière un attrait presque irrésistible. »

Poussé par cette noble passion, il alla, en 1828, étudier, avec M. Louis, la fièvre jaune, qui avait éclaté à Gibraltar. Vers la même époque, il reçut mission, avec le docteur Ramon, d'aller observer une épidémie de diphthérie qui décimait la Sologne. C'est par la guérison d'un des accidents de cette dernière maladie qu'il illustra le plus son nom. Bretonneau avait, en 1825, pratiqué la trachéotomie sur la fille du comte de Puységur, qui avait déjà perdu trois enfants enlevés par le croup. Bretonneau eut le bonheur de sauver sa malade. Trousseau, le second, enregistra un succès, bientôt d'autres suivirent, et, grâce au talent qu'il déploya dans la défense de cette opération, Trousseau la fit entrer définitivement dans la pratique de tous les médecins. Aussi, à la fin de sa carrière, il lui fut permis de dire avec un légitime orgueil, qu'après avoir pratiqué plus de deux cents fois la trachéotomie, il avait été assez heureux pour enregistrer plus d'un quart de succès.

Trousseau a résumé ses autres travaux sur cette maladie dans sa clinique de l'Hôtel-Dieu. Séduit par la beauté pittoresque des relations laissées par les médecins des derniers siècles qui eurent à étudier des épidémies, Trousseau a répété avec la Fontaine, que « nous ne saurions aller plus loin que les anciens; qu'ils ne nous ont laissé que la gloire de les bien suivre. » Nul n'a donné à cette parole décourageante un démenti plus formel que lui-même. Par la forme, il a laissé bien loin derrière lui toutes les

descriptions antérieures, et grâce aux procédés thérapeutiques qu'il inventa ou qu'il remit en honneur, Trousseau a légué aux médecins des préceptes qui suffiraient à sauver son nom de l'oubli.

La thérapeutique fut d'ailleurs sa préoccupation constante, son but. Il possédait mieux que personne l'art de manier les médicaments et d'utiliser leurs propriétés pour la guérison ou le soulagement des malades. Avec M. Pidoux, il publia un *Traité de thérapeutique* arrivé aujourd'hui à sa huitième édition. Il consigna dans les *Archives de médecine*, et dans le *Journal des connaissances médico-chirurgicales* qu'il dirigea pendant plusieurs années, un grand nombre de mémoires spéciaux. Ce fut lui médecin qui mit encore en honneur une nouvelle opération, la ponction de la poitrine, dans les épanchements de la plèvre. Il formula les indications de la thoracentèse et il eut encore le bonheur de compter de nombreux succès et de voir les médecins le suivre dans cette nouvelle voie.

Grand, élégant, un peu imposant, quand nous l'avons connu, Trousseau était doué de toutes les qualités qui font le bon professeur. C'était au lit du malade et dans sa chaire de l'Hôtel-Dieu qu'il se révélait tout entier; audacieux, pénétrant, passionné, il émouvait son auditoire et le laissait impressionné, souvent convaincu, et cependant Trousseau n'a pas fait école. Ami du descriptif, portant dans son enseignement les qualités de l'artiste, il ne pouvait se plier aux exigences de la méthode dite d'observation qui régnait alors; l'analyse minutieuse des faits lui semblait désagréger des phénomènes qu'il concevait groupés, et il se reportait avec plaisir vers l'étude des anciens. Il ne poussait pas ses élèves vers les voies qui avaient alors la séduction du nouveau, et qui étaient le progrès du moment. Pour lui, la médecine était un art et non pas une science; c'est peut-être pour cette cause qu'après avoir fait des élèves dévoués, après avoir formé leur intelligence par des leçons pleines d'aperçus, Trousseau n'en a pas laissé un seul qui ait suivi sa tradition.

Trousseau se mêla un instant à la vie politique. En 1848, le département d'Eure-et-Loire le nomma par 25,000 suffrages représentant du peuple à la Constituante. Trousseau ne se montra pas hostile aux institutions républicaines et ne fut pas réélu à l'Assemblée législative.

Après cette vie dont les élèves et les malades ont eu la meilleure part, Trousseau a été pris, à soixante-cinq ans, d'une maladie qui dès le début ne lui laissa aucune espérance. Dès les premiers mois, il eut la conscience exacte du mal, il put en mesurer les douleurs et la durée, et, stoïque devant la mort, il succomba le 25 juin 1867, quelques jours à peine avant le terme qu'il avait assigné à sa vie.

P. Brouardel.

III

BIBLIOGRAPHIE

ENTRETIENS FAMILIERS SUR L'HYGIÈNE

Par le professeur J.-B. Fonssagrives [1].

Nous n'avons pu cette année, à notre grand regret, parler dans l'*Annuaire* de l'ouvrage de M. Ollier, sur les fonctions du périoste, nous y reviendrons l'an prochain ; mais nous voulons annoncer la publication d'un ouvrage qui nous paraît devoir être goûté par un certain nombre des lecteurs de l'*Annuaire*.

Parler de la santé est souvent une distraction, parfois une manie ; en parler sensément est rare. M. Fonssagrives peut y aider, il aime à donner des conseils, il semble les bien donner ; je ne me prononcerai pas sur les deux premiers entretiens, les *Conditions physiques du mariage* et les *Devoirs de la maternité physique*, mais j'applaudis aux deux suivants, les *Systèmes modernes d'hygiène pédagogique* et l'*Etude de la santé chez les enfants*. Ils se résument en deux mots : trop de travail intellectuel, pas assez de fatigue matérielle, et tout ce que j'ai observé depuis dix ans me confirme dans cette manière de voir. Il faut tâcher d'exercer simultanément les muscles et le cerveau, et ne pas faire de nos pauvres collégiens des plantes de serre chaude, des êtres pâles et étiolés, confinés entre un dictionnaire et une équation, mais des hommes vigoureux. Aussi la devise de M. Fonssagrives, nous convient : Moins de versions et plus de gymnastique... Je pense que les *Entretiens sur l'hygiène* seront lus avec intérêt.

P.-P. D.

[1] Un vol. in-12, Victor Masson et fils.

ÉCONOMIE SOCIALE

I

LES HABITATIONS ÉCONOMIQUES

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867.

I

Parmi les créations qui marquent l'esprit de notre temps, une de celles qui auront l'utilité immédiate la plus grande et l'influence salutaire la plus durable, est l'institution populaire qui s'ingénie à donner un centre à la famille, à fortifier en elle l'amour de l'ordre, le respect de la propriété et le culte du foyer, je veux parler des cités ouvrières, ou plutôt, car cette dénomination a ses adversaires, je veux parler des *habitations économiques*.

Cette question, que de récents travaux ont mise à l'ordre du jour, peut être envisagée à un double point de vue. Ou bien, réduisant le problème à sa plus simple expression, on se propose de mettre à la portée de tous des logements sains, suffisants et commodes ; — ou bien, prenant la question dans toute son étendue, on ajoute aux mêmes avantages la faculté d'acquérir peu à peu, moyennant des annuités calculées en conséquence, la maison dont le locataire deviendra le propriétaire.

Examinons d'abord la première de ces combinaisons et, pour cela, transportons-nous par le souvenir à l'Exposition universelle, dans cette vaste enceinte où l'industrie humaine étalait, hier encore, sa puissance et son infinie variété.

Nous voudrions pouvoir faire dignement les honneurs de chez nous aux hôtes que nous avons reçus et parler longuement de leurs projets ou de leurs modèles ; malheureusement les échan-

tillons qu'ils avaient mis sous nos yeux dans l'immense panorama du Champ de Mars ne représentaient pas l'état économique des nations étrangères dans tout son épanouissement, ou semblaient faits plutôt pour piquer la curiosité des visiteurs que pour répondre aux vues des philanthropes et aux exigences des économistes.

Commençons notre revue par la Belgique. Voilà certes un pays où les problèmes économiques sont en faveur : il est peu de congrès qui s'y tiennent, sans que le sujet des *habitations ouvrières* soit mis à l'ordre du jour. Et cependant, l'exposition belge, si brillante sous tant d'autres rapports, n'offrait, à part les modèles de Verviers, qu'un intérêt secondaire.

Même remarque pour la Hollande. Beaucoup de fermes-modèles; point ou peu de maisons ouvrières. On dirait que la fortune de la Hollande est tout entière dans ses pâturages. Et pourtant, il y a là toute une population qui contribue, par l'industrie, à la richesse du pays : il y a là des manufactures de toiles, de soieries, de drap, de papier, de velours ; il y a là d'importantes tanneries, des fabriques de produits chimiques, des manufactures de faïences, des tailleries de diamants; autant d'industries occupant des milliers de bras et dont nous avons admiré l'outillage et les produits.

Je cite seulement pour mémoire les maisons de pêcheurs de Scandinavie et de Danemark.

En Russie, que courait-on voir ? Un modèle de chaumière, qui rappelait les villages en carton peint que Potemkin échelonnait sur le passage de Catherine II.

Irons-nous jusqu'en Orient ? Oui ; par curiosité. Il faut connaître l'*okel*, sorte de bazar où s'exercent les industries du Caire. Des passementiers, des brodeurs, des tourneurs, des bijoutiers, y travaillent accroupis. On les loge je ne sais où.

En Angleterre, la *Metropolitan Association* a ses maisons modèles ; l'*improved industrial dwellings* a son type d'habitations à l'italienne, avec ses terrasses couvertes et ses escaliers à jour. Voilà deux institutions; j'en pourrais citer vingt... L'Angleterre avait beaucoup de choses à rappeler ou à produire. Elle ne l'a fait qu'avec une extrême réserve.

L'Allemagne elle-même, la sérieuse et savante Allemagne, a montré, elle aussi, une grande discrétion. On trouvait, dans les sections allemandes, une grande profusion de brasseries, de cafés, de boulangeries, de pâtisseries, etc. ; — une bien petite place était

prise par l'*économie ouvrière*. Nous arrêterons-nous devant la *maison de Liebig*, pauvre masure indigne du nom qu'elle porte ?

De même encore pour les États-Unis. A côté de produits remarquables, une exposition ouvrière incomplète. Cependant, telle qu'elle était, cette exposition nous offrait encore un enseignement. Nos habitations européennes, comme le faisait observer M. Barral dans l'une des conférences de l'Association polytechnique, à l'École de médecine, ont des salles où l'on mange, où l'on boit, où l'ou fume, où l'on dort ; quant au travail intellectuel, quant au perfectionnement moral, on ne s'en préoccupe pas toujours assez. Dans la maison américaine, on n'oublie jamais de placer, à côté des aménagements pour la vie matérielle, tout ce qui peut favoriser la culture de l'esprit. Il n'y a pas de maison ouvrière sans parloir et sans bibliothèque.

En résumé, nous avons vu, à l'Exposition universelle de 1867, beaucoup de choses curieuses ; un spectacle très-amusant, très-varié ; mais, à part les quelques exceptions que nous avons citées, rien de remarquable au point de vue spécial des *habitations économiques*.

L'Exposition française, sous ce rapport comme sous beaucoup d'autres, a été la plus féconde en enseignements. La meilleure manière de s'en convaincre est de la parcourir.

Près de l'une des entrées du Palais, à une centaine de pas de la porte Rapp, entre le boulevard de ce nom et l'avenue Labourdonnaye, s'élève un édifice assez vaste dont la façade (ce qui est une qualité) annonce la destination. Nous sommes en présence d'un premier type des *maisons ouvrières*.

En même temps qu'un modèle inspiré par un sentiment philanthropique, dont la source se trouve dans les plus hautes régions, le type de l'avenue La Bourdonnaye est une sorte d'appel à la spéculation qui n'est que trop portée, de nos jours, à négliger, pour les maisons de luxe, les demeures des humbles fortunes.

Puisqu'il s'agit de spéculation, n'hésitons pas à aligner quelques chiffres et faisons la comparaison des capitaux engagés et du rendement obtenu.

Les maisons de l'avenue La Bourdonnaye sont au nombre de quatre. Elles ont coûté 720,000 francs et en rapportent 60,000. Elles représentent donc un assez bon placement, même en admettant quelques non-valeurs et en tenant compte des réparations. Ce

détail, que le philosophe dédaignerait, a son importance pour le financier, et n'oublions pas qu'il s'agit de convertir, s'il se peut, les capitalistes à un nouveau genre de placement.

Quelques mots maintenant du programme d'après lequel les maisons ouvrières de la porte Rapp ont été construites.

Sur toute la ligne du rez-de-chaussée, des boutiques avec sous-sol. Excellente idée pour des maisons destinées à une grande ville et à un quartier populeux. Les boutiques ont un triple avantage : elles mettent les approvisionnements sous la main des habitants ; elles donnent à la rue de la lumière et de la vie, et, sans surcharge pour le locataire (le commerçant ayant, en général, des ressources supérieures à celles de l'ouvrier), elles sont d'un meilleur rapport pour le propriétaire. Peut-être même y aurait-il lieu (nous risquons ici une opinion qui nous est personnelle) de ne pas donner à toutes les boutiques la même apparence modeste. Ne pourrait-on pas encourager les dépôts de tous les produits, même des produits de luxe, au milieu des centres de production? Le commerce, au lieu de se ramasser vers le centre, aux dépens des extrémités, rayonnerait de toutes parts. Sans compter les facilités que donnerait, à bien des corps de métier, la proximité de l'artisan; le marchand, dans un grand nombre de cas, aurait le producteur sous la main. Les quartiers se pareraient ainsi d'une foule de produits fabriqués sur place. L'ouvrier aurait, pour ainsi dire, son *Kensington en boutiques*, musée permanent auquel il attacherait d'autant plus de prix qu'il y trouverait ses droits d'auteur et sa part de gloire.

Mais revenons au plan dont nous cherchons à donner une idée.

Dans chaque logement, une petite antichambre, une première pièce pouvant servir de salle à manger, une cuisine, une belle chambre à coucher, et ce réduit qu'on est embarrassé de nommer, mais que l'architecte, dans ses combinaisons, ne peut oublier et qu'il doit inonder d'eau, d'air et de lumière.

Il y a, dans cette distribution du logement de l'ouvrier, plusieurs précautions excellentes. Et d'abord, l'antichambre répond à une pensée tutélaire. Elle est, en quelque sorte, le premier rempart de l'ouvrier. On veut que celui-ci soit raisonnable et rangé ; il faut lui en faciliter les moyens. N'est-il pas exposé à bien des entraînements, à de mauvaises camaraderies ? Il faut l'aider à se défendre. Voilà une première ligne de fortifications. Un ami

(c'est un mot dont on abuse) frappe à la porte ; on a ses raisons pour l'éviter. Rien de plus simple : la ménagère ouvre, elle a le mot.... L'ami, je me trompe, l'ennemi n'entrera pas dans la place.

On a également bien fait de séparer la cuisine de la salle à manger, forcément petite dans l'habitation ouvrière des villes. Il importe que le repas soit préparé et servi avec ce luxe de soins qui excite l'appétit et la bonne humeur. L'heure du repas, chez bien des ouvriers, est l'heure de la causerie.

La recommandation de faire, de la chambre à coucher, la plus belle pièce du logement est encore inspirée par une sage pensée. Ce n'est pas seulement l'intelligence de l'ouvrier, qui est en jeu dans son travail ; ce sont ses bras, ce sont ses muscles. Or, si l'on veut qu'il puisse réparer ses forces, il faut lui donner en abondance la substance réparatrice par excellence, l'air, ce premier aliment sans lequel le sang perd toute vertu. Trop souvent, dans l'habitation modeste, le lit se cache dans quelque noir recoin, sous prétexte qu'il gêne ou qu'il dépare. On ne saurait trop protester contre cette déplorable coutume. On a raison de rendre à la chambre à coucher la place et les proportions auxquelles elle a droit, de la faire spacieuse, d'y mettre une cheminée qui chauffe et ventile, de l'orner, de la parer. C'est l'atelier où la vigueur physique et morale se retrempe ; c'est, d'ailleurs, le sanctuaire de la famille.

Enfin, dans chaque maison, une cour aérée, un escalier et des couloirs bien éclairés ; l'eau et le gaz partout.

Telles étaient, sur le papier, les habitations ouvrières de l'avenue La Bourdonnaye. On le voit, le plan en est irréprochable. — Sur le terrain, elles ont donné lieu à quelques observations. Mais quelle institution humaine en est exempte? La critique est aisée et l'art est difficile.

A l'autre bout de Paris, avenue Daumesnil, tout près du bois de Vincennes si splendidement transformé dans ces dernières années, se trouve un autre spécimen placé sous le même patronage.

En établissant la maison des ouvriers à la porte de *leur parc*, on a, du même coup, tranché deux des difficultés du problème : on a enveloppé leur demeure d'une atmosphère vivifiante et on l'a placée dans un milieu qui l'honore. Salutaire précaution ! N'oublions pas, en effet, que, si l'éducation du peuple commence à l'école, elle se continue, elle se complète, par l'influence

du milieu dans lequel il vit et des exemples qu'il a sous les yeux.

Jetons maintenant un coup d'œil sur l'aspect extérieur des habitations de l'avenue Daumesnil. — Qu'importent, dira-t-on, les apparences? Allons au plus pressé, au principal : franchissons le seuil.

Les apparences ont, elles aussi, leur importance : la bonne tenue, pour les individus, est un signe du respect qu'on a de soi-même et des autres. De même il convient d'attacher un grand prix au décorum du foyer domestique.

Sous ce rapport, les habitations de l'avenue Daumesnil ne laissent rien à désirer. L'architecture, sobre et correcte, a une certaine élégance appropriée à sa destination : des lignes simples, mais harmonieuses, décorent la façade ; de joyeux contrevents verts, des jalousies coquettement découpées encadrent les fenêtres. La porte d'entrée a bonne façon avec ses agréments de fonte ouvragée, sa poignée ornementée et ses moulures intelligentes. L'heureuse proportion de toutes les parties, la disposition bien entendue des ouvertures en plein-cintre qui éclairent les paliers, la légèreté des corniches qui courent au bord des toits, toutes ces choses qui coûtent plus de goût que d'argent, donnent aux maisons Daumesnil un extérieur très-attrayant. Il y a là 41 maisons, toute une série de cottages qui ont surgi de terre comme par enchantement.

La rapidité de leur apparition tient à un mode particulier de construction. Toutes ces habitations, en effet, sortent, à la lettre, du même moule ; elles ont toutes été coulées en béton Sheppard, mélange de sable et de cailloux dans une pâte de ciment de Portland. Ce béton est d'une préparation et d'un usage si faciles que l'ouvrier le moins habile peut s'en servir ; à la rigueur on pourrait construire sa maison soi-même.

Mais dira-t-on, des maisons bâties aussi vite ne sont pas habitables ; il y règne une humidité dangereuse ; l'eau doit ruisseler sur les murs. C'est une erreur ; la sécheresse de la construction est parfaite, je ne dis pas seulement au moment où la maison s'achève, mais au fur et à mesure qu'elle s'élève, on dirait des murailles en métal.

Dans le voisinage de ces maisons ouvrières, le constructeur, un Anglais, M. Sheppard, a élevé un pavillon dans lequel il a accumulé à dessein toutes les difficultés. Ce pavillon, connu sous le nom

de *château du lac Daumesnil* et dont le titre indique la situation, est tout un plaidoyer.

Chaque maison de l'avenue Daumesnil comprend trois logements : un au rez-de-chaussée, un au premier étage, un au second. (La maison n'a que deux étages.) — Chacun est chez soi.

Quant à la distribution de chaque logement, j'en dirai peu de chose; elle est partout la même ou à peu près : une pièce d'entrée pouvant servir de salle à manger, une cuisine et une chambre à coucher ; des cabinets sur chaque palier. Point de luxe, bien entendu , mais tout le nécessaire ; une propreté exquise et une certaine façon : un papier simple, mais solide et bien choisi, couvre les murs ; des cheminées convenables chauffent et aérent le logement ; des boiseries peintes et vernies l'ornent et l'assainissent ; enfin, un certain confortable provoque les soins de la ménagère et invite la famille entière à la bonne tenue. L'eau monte dans tous les logements, et de plus chaque cour a sa fontaine donnant de l'eau potable. Il est même question, pour égayer la vue, d'y placer quelques fleurs et un peu de verdure. C'est le luxe de l'ouvrier.

Qu'il y a loin de ces créations de l'esprit moderne à ces réduits dont il reste à peine quelques échantillons dans les grandes villes, mais qui étaient si nombreux il n'y a pas encore longtemps. Je me rappelle le cri de détresse que ce triste état de choses arrachait de toutes les poitrines généreuses :

« Il faut absolument que l'on s'occupe de substituer à ces repaires des habitations propres, décentes, salubres, où la moralité du peuple n'aura pas moins à gagner que sa santé[1] ! »

C'était vers 1848 ; les murs de Paris se couvrirent de placards annonçant l'application prochaine de plusieurs systèmes économiques... La *cité Rochechouart* fut fondée.

Malheureusement, par une économie facilement explicable dans une ville comme Paris, où chaque pouce de terrain, où chaque moellon a une grande valeur, les habitants se ressentirent de la cherté des constructions et du prix de l'espace. La liberté de leurs mouvements en souffrit. On n'avait pas encore, à cette époque, les données qu'on possède aujourd'hui en matière d'habitations ouvrières. Quelques précautions disciplinaires parurent gênantes... La *cité Rochechouart* dut être transformée. Les avantages qu'elle

[1] *De la santé du peuple*, par le docteur Lélut.

offrait aux ouvriers ne leur parurent pas suffisants pour compenser la perte de certains priviléges dont ils sont jaloux. N'importe ! l'élan était donné.

Au surplus, ce n'est pas seulement à Paris que la population a manifesté ses préférences pour tout système qui évite les trop grandes agglomérations sous le même toit. Dans plusieurs centres industriels, les *cités ouvrières* affectant la forme de vastes constructions abritant de grandes agglomérations sous le même toit, n'ont obtenu qu'un succès médiocre. Dans l'une des plus grandes exploitations de France, les directeurs, obéissant à une pensée toute philanthropique, ont fait élever, pour les ouvriers, un édifice ayant plus de 100 mètres de longueur, trois étages, et pouvant loger 130 locataires. Le prix des principaux logements ne dépasse pas 54 francs par an, trois sous par jour, et, pour 3 francs par mois, on trouve encore à s'y loger. Toutes les institutions d'utilité commune et de prévoyance entourent l'établissement ; rien n'y manque, rien.... si ce n'est la croyance à une liberté suffisante. La *cité ouvrière* de ce grand centre industriel n'a pas eu la fortune qu'on attendait. Au contraire, les maisons séparées qu'on a construites depuis, dans la même localité, ont un succès incontestable.

Cette préférence semblera cruelle à l'école qui a pris pour maxime : « L'architectonique morcelée est ruineuse et malfaisante. » Il faut cependant en prendre son parti et voir les choses comme elles sont. Ce *palais de l'homme* au milieu duquel s'élève la *tour d'ordre*, centre de mouvement et de direction des opérations industrielles, d'où l'on donne le signal de toutes *les évolutions* du travailleur avec des pavillons, des trompettes et des porte-voix ; ce *temple de haute harmonie* où chaque fonction est consignée dans son département : les relations générales, au centre ; à côté, le caravansérail ; ici, les appartements somptueux ; là-bas, dans les *ailes et dans les ailerons*, les logements modestes ; au bout, dans les *cours de tapage*, les écoles criardes et les ateliers bruyants « où l'enclume du forgeron et le marteau du ferblantier conspirent contre les oreilles publiques ; » — tout cela est un beau rêve ; mais, quand on en vient à la pratique, ce brillant échafaudage s'écroule ; il ne reste plus que le nuage de poussière qui s'élève au-dessus des ruines et la fumée des illusions qui s'envolent.

Passons.

En 1852, une somme de 10 millions fut affectée, par décrets, à l'amélioration des logements d'ouvriers dans les grandes villes.

Dans les petites localités, l'initiative privée se mit à l'œuvre. — Parmi les exemples que nous pourrions donner, citons un établissement dont on a beaucoup parlé dans ces derniers temps.

Le voyageur qui, arrivant de Mont-d'Origny, traverse la rue principale de la petite ville de Guise, dit un économiste distingué qui a visité l'usine et la colonie, voit en face de lui, au bord de la rivière de l'Oise, un édifice monumental ; c'est l'établissement de Guise ou, pour l'appeler par son nom, le *familistère*.

Il se compose d'un bâtiment principal et de deux ailes formant avant-corps. « Rien ne rappelle ici la cité ouvrière, que l'on confond si facilement avec la caserne et la prison. Frontons au centre de l'édifice et aux angles; pilastres s'élevant de l'entablement du rez-de-chaussée jusqu'au toit; panneaux en saillie à coins échancrés; encadrements de toutes les fenêtres et de toutes les portes; rien n'a été négligé des ornementations pouvant rompre la monotonie d'une vaste façade. On a tiré de la brique rouge tous les effets qu'elle comporte. Les vastes et hautes fenêtres, presque toutes ornées de rideaux blancs et de fleurs, donnent à l'ensemble un aspect riant. La vue s'en réjouit ; le cœur aussi[1]... »

Le *familistère de Guise* contient à peu près deux cent quarante familles qui travaillent dans l'usine voisine. Les logements, sains et commodes, y sont d'un prix modeste. Il y a autour de l'établissement tout ce qui peut contribuer au bon marché de la vie, et, dans un ordre d'idées plus élevées, des institutions propres à faciliter le travail de tous les membres de la famille, à développer l'instruction des enfants et l'éducation commune : un *pouponnat*, où les babys sont recueillis et soignés ; un *bambinat*, pour les petits enfants de deux à quatre ans: des *écoles*, pour les enfants plus âgés et les adultes ; enfin, pour les parents eux-mêmes, un *casino* (c'est le nom consacré dans le familistère), avec bibliothèque, salles de lecture et de conversation, etc.

Grâce à l'habileté, au dévouement, à la popularité de son fondateur, la colonie de Guise prospère. Mais les institutions économiques se recommandent bien plus par le principe qui leur sert

[1] *Une visite au familistère de Guise*, par J.-E. Horn. *Journal des Économistes*, octobre 1866.

de base et par le jeu sagement combiné des rouages qui les composent que par le parti qu'en sait tirer une personnalité exceptionnelle. Le *familistère de Guise*, comme plusieurs autres fondations qui s'en rapprochent, facilite la vie au jour le jour et, sous la direction actuelle, donne à l'ouvrier toute la liberté possible, puisque le règlement de la maison semble avoir pour formule : pas de règlement; mais il laisse, sous bien des rapports, l'avenir incertain. L'indépendance de l'ouvrier y existe sans y être assurée ; il peut survenir tel événement qui transforme en un système dangereux pour elle ce régime de bienveillante tutelle.

Aux portes de Paris, une autre combinaison a été appliquée par M. Paul Dupont dans ses maisons ouvrières de Clichy, récemment fondées dans le but (nous adoptons ici la formule du fondateur) de donner plus de bien-être à l'ouvrier et de l'attacher à son patron par le double lien de l'intérêt et de la reconnaissance.

A Clichy, comme à Guise, l'ouvrier trouve pour un prix modéré, un logement convenable, la jouissance d'un jardin, l'admission à une bibliothèque de famille; mais de plus il profite du bénéfice d'un mode particulier d'organisation grâce auquel le loyer annuel au lieu d'augmenter, comme cela se produit trop souvent, diminue jusqu'à concurrence des deux tiers.

Pour arriver à ce résultat qui, par ce temps de progression croissante dans le prix des logements, semble tenir du prodige, il suffit de trouver un mode de construction qui soit économique et qui n'absorbe pas les revenus de la maison pour le service des intérêts du capital engagé. L'excédant des revenus est alors employé, partie à la formation d'un fond d'amortissement pour le remboursement de ce capital, partie à la création d'un nouveau capital destiné à représenter un à-compte sur les loyers et, par suite, à permettre d'en abaisser graduellement les prix.

Précisons les idées par des chiffres. Les maisons ouvrières de Clichy ont coûté 75,000 francs. Dans des conditions avantageuses pour le locataire, elles rapportent 6000 francs par an. Ces 6000 francs sont répartis de la manière suivante :

5 pour 100 pour l'intérêt du capital.	3750 fr.
1 pour 100 pour non-valeur, frais et réparations, contributions, etc..	750
2 pour 100 pour amortissement du capital et diminution des loyers.	1500
Total..	6,000

En capitalisant, pendant dix années, la réserve mise annuellement de côté, on arrive à pouvoir faire profiter les locataires d'un allégement sensible au bout de la dixième année, à continuer ce régime de cinq ans en cinq ans, et, en quarante-quatre ans, à rembourser le capital, tout en réduisant les loyers au tiers de leur taux primitif.

Mais quarante-quatre ans, c'est presque un demi-siècle ; c'est un terme qui dépasse de beaucoup la durée moyenne de la vie humaine. Avec les ressources actuelles de la science de l'ingénieur, il serait facile de l'abréger. Une usine bien connue des Parisiens, l'usine Tronchon, a exposé des procédés qui permettraient d'effectuer de notables économies dans les dépenses de premier établissement et, par suite, de rapprocher une échéance encore lointaine.

Il est enfin une institution que nous ne pouvons passer sous silence ; c'est celle de la rue Neuve-de-Reuilly, dont j'emprunte la description rapide à un juge très-compétent, M. Reboul-Deneyrol, directeur de l'asile des convalescents de Saint-Maurice.

« La maison modèle de la rue Neuve-de-Reuilly, ouverte le 15 août 1866, pour les ouvriers célibataires, offre à l'artisan sans famille à Paris, et auquel cet état d'isolement pourrait être funeste, une hospitalité prévoyante : habitation saine et confortable, salles de réunion pour la lecture, la conversation, les jeux honnêtes ; cantine où les repas sont servis à des prix réglés d'avance, etc. ; tout cela à des conditions très-modérées, mais rémunératrices cependant pour l'entreprise, car il ne s'agit pas ici d'une maison de secours, mais d'un modèle d'habitation économique.

« En donnant l'ordre de fonder cette maison, l'Empereur a voulu en tracer lui-même le programme et les plans, se proposant d'attirer à son exemple la spéculation privée, non la spéculation âpre, avide de gros bénéfices, mais la spéculation modérée, sage, intelligente, telle que la grande industrie peut la concevoir. Son but a été de mettre à la disposition de l'ouvrier sans famille, éloigné des siens, étranger à la ville, non-seulement une demeure décente et économique[1], mais encore une société sympathique et des distractions honnêtes et propres à le soustraire aux dangers d'une vie d'isolement et d'abandon. »

[1] La maison modèle des célibataires comprend 83 chambres garnies, louées au prix de 18, 16, 14, 12 et 10 fr. par mois

A ces types principaux en ajouterons-nous encore d'autres? Non ; ceux que nous venons de citer résument à peu près ce qu'on a dit et tenté pour la solution du problème des *habitations économiques* réduit à son expression la plus simple. Arrivons, sans plus tarder, à la seconde solution de la question et voyons par quelles combinaisons l'ouvrier peut, lui aussi, devenir propriétaire.

II

C'est à Dornach, par les soins de M. Jean Dollfus, sous l'habile direction de M. Émile Müller, qu'ont été construits les spécimens qui ont servi de modèles aux *habitations économiques de Mulhouse*, dans lesquelles est appliqué, sur une grande échelle, le système de l'admission, ou plutôt de l'entraînement à la propriété.

Les *cités de Mulhouse*, dont la fondation de Dornach fut le point de départ, ont acquis une grande réputation. Il est donc juste que nous en parlions ici avec quelques détails.

Elles comprennent des groupes d'habitations se rapportant à deux types différents : dans le premier modèle, les maisons sont disposées par rangées longitudinales et placées dos à dos. Ce système a l'inconvénient de ne laisser pénétrer l'air et la lumière que d'un seul côté. Les habitations des extrémités sont seules privilégiées.

Le second groupement, celui auquel on donne la préférence, est le groupement par îlots. Chaque îlot est composé de quatre maisons dont les murs mitoyens se coupent en croix, ce qui permet de pratiquer des ouvertures de deux côtés. Dans les habitations adossées par files, le jardin est situé en entier devant la maison ; dans le système des îlots, il règne par devant et sur la moitié du pignon. Un îlot couvre d'ordinaire 160 mètres carrés et les quatre jardins qui l'entourent ont un surface d'environ 6 à 700 mètres.

« Le jardin donne à l'ensemble un grand avantage, et encore un plus grand agrément. Le propriétaire y récolte une partie du jardinage qu'exige sa table, et dont on peut estimer la valeur de 30 à 40 francs par an. Mais, s'il y attache un haut prix, c'est surtout à cause des distractions qu'il trouve, dans cette culture, pour lui, sa femme et ses enfants. Ces derniers, tant qu'ils sont en bas âge, y peuvent jouer en plein air sans être exposés à aucun

des dangers que présentent les rues toujours si passagères. La famille se plaît à entretenir ce petit terrain avec un grand soin, et quelquefois même avec une certaine coquetterie. Les jeunes filles savent y faire la part des fleurs qu'elles groupent souvent avec beaucoup de goût ; quelques-unes en font un petit commerce. Tous se réunissent, pour occuper leurs moments de loisirs, à planter, arroser, récolter ou se reposer le soir à la fraîcheur, pendant la belle saison, au milieu de cette verdure qui leur appartient[1]. »

Mulhouse avait un spécimen de ses habitations à l'Exposition universelle. La maison était bâtie au milieu d'un petit jardin, et l'on y arrivait par un perron de quatre marches. Une paysanne en faisait les honneurs avec une sorte d'orgueil national. Dans la pièce d'entrée se trouvaient groupés, avec une habile entente, le fourneau, l'évier, la grande armoire pour la réserve, le dressoir, avec ses faïences peintes, toutes fières de se montrer, et la batterie de cuisine, luisante et rangée en bataille. Puis on passait dans la salle à manger qui servait aussi de chambre à coucher au maître et à la maîtresse du logis. Un lit, une table de chêne, des chaises de paille, une commode surmontée d'une glace, l'armoire traditionnelle, composaient l'ameublement. De là on entrait dans une autre petite pièce où se terminait l'exploration du rez-de-chaussée. En revenant sur ses pas, on trouvait l'escalier conduisant, d'un côté, au cellier, de l'autre, aux chambres supérieures. Au-dessus, était le grenier qu'on aurait pu, à la rigueur, convertir en mansardes logeables.

Et l'on se demandait si ce n'était pas un leurre ; si tout cela était vraiment accessible à la bourse de l'ouvrier. A quoi la bonne femme préposée à la garde de l'habitation répondait par des chiffres :

— Telle que vous la voyez, monsieur, cette maison ne coûte pas plus de 1000 écus, et il y en a, à Mulhouse, qui sont encore moins chères. Pour 2,500 francs on peut être maître chez soi.

— C'est peu, sans doute ; l'ouvrier cependant n'a pas souvent une pareille somme sous la main. 2,500 francs, c'est un trésor pour lui.

[1] *Les cités de Mulhouse et du département du Haut-Rhin*, par A. Penot. Mulhouse, Bader, 1867.

— Oh ! le cas est prévu, répondait-elle ; qu'à cela ne tienne. On ne paye pas sa maison comptant ; on donne un à-compte de 250 à 300 francs et le reste, par petites sommes : 20 francs, 25 francs par mois. Et, au bout de quatorze ans, on ne doit plus rien à personne ; ou plutôt, on ne s'acquitte jamais entièrement, car l'argent ne suffit pas pour payer une semblable dette.

On ne saurait dire tous les bons sentiments qu'a développés l'institution des cités de Mulhouse dans le cœur de ses braves habitants.

En 1864, le ministre de l'instruction publique visite les cités ouvrières. Dans une des maisons qu'il examine, une femme est assise et coud.

— Voilà, dit le ministre, une mère de famille que je félicite de son activité.

— Oh ! je n'y ai pas grand mérite, répond l'excellente femme ; c'est pour mon enfant que je travaille, pour mon fils qui est attaché à la manufacture voisine, un brave cœur qui fait la joie de la maison.

— C'est le fruit de l'exemple qu'il a sous les yeux.

Et, après quelques bienveillantes questions sur le travail de cet enfant :

— Vous avez votre mari ?

— Oui, monsieur ; un bon cœur aussi ; ce qui fait que j'attends le soir avec impatience.

— Il passe donc ses soirées avec vous, fait le ministre avec intention ?

— Oui, monsieur, depuis... depuis que nous avons *notre maison !*

Une des choses qui frappent le visiteur, c'est l'air respectable des habitations ouvrières de Mulhouse. Le conseil d'administration de la société y attache, du reste, un grand prix. Chaque année, il distribue des récompenses aux habitants qui se distinguent par la bonne tenue de leurs maisons. Tout est mis en ligne de compte : l'aspect de la maison, la culture du jardin, l'ordre et l'économie du ménage, les soins donnés aux enfants. On tient surtout l'instruction en haute estime. Une famille qui négligerait d'envoyer ses enfants à l'école, serait exclue du concours. Bien plus, si le contrat n'était pas encore signé, la vente serait annulée.

Outre l'habitation mise à sa portée, ici encore l'ouvrier a sous

la main toutes les ressources propres à diminuer le montant de ses dépenses : une boulangerie et un restaurant économiques, des bains, des lavoirs, des magasins à prix réduits ; des asiles pour l'enfance, et, comme les extrêmes se touchent, d'autres asiles pour la vieillesse. Il n'est pas rare que des maisons soient achetées par des enfants pour leurs vieux parents devenus infirmes. L'épargne est en honneur : plusieurs patrons, afin de l'encourager, complètent, de leurs deniers, les versements faits par leurs ouvriers pour les assurances et la caisse des retraites... L'œuvre entreprise ici, me disait récemment un honorable citoyen de Mulhouse, M. Bernard, est grande et belle : huit cents habitations construites ; sept cent trente vendues ; deux cents libérées ; — de pauvres ouvriers (le nombre en est grand à Mulhouse) devenus propriétaires, dans un pays où les logements sont rares et chers ; — une population soustraite aux mauvaises influences et convertie aux meilleures doctrines ; — six mille âmes vivant honnêtement dans nos cités ! Voilà des résultats qui réagissent au loin, après avoir agi chez nous. Voilà surtout des vertus implantées, car l'acheteur, pour devenir propriétaire, a besoin d'ordre, d'économie et de sagesse !

En donnant ces bons exemples, Mulhouse s'est acquis une gloire véritable et une grande influence. Le mal, Dieu merci, n'est pas seul contagieux ; il y a aussi la contagion du bien. — Nous apprenons que Liége, entraîné par l'exemple de Mulhouse, vient de fonder une société, au capital de 400,000 francs, pour la création de maisons ouvrières.

C'est là ce que j'appellerai un effet de rayonnement moral. Dès 1854, Guebwiller, à l'exemple de Mulhouse, inaugurait, grâce à l'initiative de M. Bourcart, des habitations économiques. Depuis, une société s'est fondée pour la propagation des maisons ouvrières. On compte, à l'heure qu'il est, cent quarante habitations de ce genre à Guebwiller.

Ce n'est pas tout.

Vers l'extrémité méridionale du Haut-Rhin, sur la lisière du département du Doubs, à Beaucourt, MM. Japy, directeurs d'une importante manufacture, ont organisé, en 1864, une société immobilière dont l'objet est analogue. Comme il faut varier les types suivant les mœurs des localités, le système de la mitoyenneté a été abandonné à Beaucourt. Les habitations économiques qu'on y con-

struit sont des maisons à 2000 francs, pour un seul ménage. Ces maisons, pour employer l'expression dont se servait, en nous parlant, l'un des chefs de la manufacture, se vendent comme le pain du boulanger. On les bâtit sur la demande des acheteurs auxquels on ouvre le crédit nécessaire. L'acquéreur peut choisir à son gré les époques et la quotité des payements. Pourvu qu'il ait soldé sa maison au bout de onze années, il est libre de suivre le mode de remboursement qu'il préfère. Que si, après avoir fait un premier versement, il veut se libérer par des à-compte échelonnés périodiquement, un tarif lui est remis pour le renseigner sur la combinaison qu'il adopte.

Beaucourt avait aussi son spécimen à l'Exposition universelle. « La maisonnette installée dans le parc du Champ de Mars, disait dernièrement un écrivain très-autorisé à en parler, était tout à fait confortable et plus d'un Parisien s'estimerait fort heureux d'en posséder une semblable. Elle comportait d'une cave et d'un rez-de-chaussée comprenant trois pièces et une cuisine. Au-dessus était un grenier pourvu de deux grandes fenêtres, et dans lequel on pouvait trouver facilement, en le séparant, deux chambres habitables.

« La plus grande chambre du rez-de-chaussée était faite pour contenir au besoin deux lits ; les deux autres pièces étaient de dimensions un peu moindres, et l'une d'elles pouvait servir de salle à manger. La cuisine était munie d'un fourneau, dit potager, dont la hotte se trouvait directement au-dessous de la cheminée dans laquelle débouchaient les tuyaux des poêles de la maison.

« Dans ce petit cottage était venue s'installer une famille d'ouvriers horlogers, comprenant le mari, la femme et plusieurs enfants de douze à vingt ans, tous employés dans les usines de Beaucourt et originaires du pays. Ces braves gens avaient apporté avec eux leurs outils et tout un attirail de pièces de fabrication auxquelles ils travaillaient sous les yeux du public. Tous, père, mère et enfants, hâtaient de leurs vœux la date du départ ; ils commençaient à être en proie au mal du pays. Ils étaient accourus à Paris avec joie; avec bonheur ils l'ont quitté pour retourner au village. »

Le chef-lieu du département du Haut-Rhin ne pouvait rester étranger au mouvement économique qui se propageait autour de lui. En 1866, un grand fabricant, M. Herzog, a fondé, à Colmar,

une institution de la même nature. Les terrains achetés dans ce but sont situés entre la ville et le Logelbach. Déjà cent maisons existent. La société, destinant ses logements, non-seulement aux ouvriers, mais aux petits marchands et aux employés, n'a point imposé de type uniforme. Chacun est libre de faire bâtir suivant sa convenance.

Si du département du Haut-Rhin nous passons dans la Saône-et-Loire, où se trouvent d'importantes exploitations, nous rencontrons encore des habitations économiques. Telles sont les *maisons de mineurs* des houillères de Blanzy, si cruellement éprouvées il y a quelques jours.

Ce n'est pas une petite affaire que de recruter, pour la guerre souterraine des mines, une armée de travailleurs. Le général qui la commande sait ce qu'elle lui a coûté de mal à rassembler et ce qu'il lui faut de précautions pour éviter qu'elle ne s'éparpille en guérillas ravageuses dans les industries voisines. Il faut donner à cette armée mieux qu'un campement passager ; il faut, si l'on veut la soumettre à un gouvernement raisonnable et paternel, la fixer à la terre.

La Compagnie des mines de Blanzy l'a compris ainsi. Quatre villages ont été construits par elle : Montceau-les-Mines, les Alouettes, le Bois-du-Verne et le Magny [1].

De plus, la Compagnie a acheté au bois Roulot 200 hectares de terrain qu'elle destine à ses ouvriers. Cent maisons s'y élevaient au commencement de l'année 1867. Ce sera l'origine d'un cinquième village. La Compagnie accorde dix ans à l'ouvrier pour payer sa maison et ne lui demande, aucun intérêt. Ce sont là des conditions exceptionnelles.

Mais tous ces exemples et beaucoup d'autres que nous pourrions citer sont pris loin de Paris. L'ouvrier parisien ne peut-il donc pas aspirer au bénéfice de la propriété ?

Auprès du spécimen qu'exposait la Compagnie des mines de Blanzy, la réponse était écrite en gros caractères : *maison des ouvriers de Paris*.

Cette maison, que beaucoup de personnes désignaient sous le

[1] Dans ces villages le prix de location (54 francs par an) ne représente que les dépenses générales, l'entretien de voirie et d'administration. La Compagnie ne perçoit aucun intérêt sur les sommes qu'elle a engagées. Ces sommes dépassent aujourd'hui 1,400,000.

nom de *maison de l'Empereur*, parce que l'Empereur en a fait les frais, a été bâtie, sans architecte, par une société d'ouvriers parisiens appartenant à tous les corps d'état. Elle était en briques et moellons et pouvait loger six ménages : deux boutiquiers au rez-de-chaussée, deux familles au premier et deux familles au second étage. Un couloir, à l'extrémité duquel aboutissait l'escalier, la divisait en deux parties symétriques.

Mais ce qui lui donnait surtout son caractère particulier, c'est moins sa construction que la combinaison économique à laquelle elle se rattache. Cette combinaison nous paraît mériter quelques instants d'examen.

La *Société coopérative immobilière des ouvriers de Paris* (c'est le titre qu'elle a pris) se propose de procéder, à Paris et dans toute l'étendue du département de la Seine, à l'acquisition de terrains et, sur ces terrains, à la construction de maisons à bon marché « présentant toutes les conditions de salubrité et favorisant autant que possible la vie de famille. »

La location, dans les maisons de la Compagnie, est faite sur un taux qui ne peut dépasser 8 pour 100 du prix de revient, excepté pour les boutiques. La vente, si vente il y a, doit être effectuée à prix coûtant : vente et location sont réservées en faveur des associés.

A quelles conditions acquiert-on ce titre?

La Société a créé un certain nombre d'actions de 100 francs. Pour devenir associé, il faut souscrire une ou plusieurs des actions. Souscrire des actions ! mais le moyen de les payer? L'ouvrier est admis à se libérer par vingtièmes, c'est-à-dire par à-comptes de 5 francs, à l'exception du premier versement qui doit être du double. Le premier payement est effectué au moment de la souscription ; les autres de mois en mois. Tout propriétaire d'un titre libéré peut prétendre à louer un logement dans les maisons de la Société. De plus, les actions donnent droit à un intérêt de 5 pour 100.

Et le surcroît des bénéfices produits par les immeubles sociaux, que devient-il? Il est affecté à la formation d'un fonds de réserve pour parer aux événements imprévus. Ce fonds de réserve ne peut d'ailleurs dépasser le dixième du capital social ; au delà, les bénéfices font retour aux associés.

En même temps que cette transaction invite l'ouvrier à l'épar-

gne pour en faire un petit capitaliste et met un logement à sa disposition, elle lui procure une certaine quantité de travail, car la construction et les réparations des maisons de la Société sont réservées aux ouvriers coopérateurs. Cette combinaison a appelé l'attention des économistes. L'Empereur lui-même, voulant donner à cette œuvre un témoignage de sa sympathie et l'aider à constituer son premier capital, a fait don à la Compagnie des quarante et une maisons élevées à ses frais et sous ses yeux avenue Daumesnil.

Une autre compagnie, la *Société coopérative immobilière*, s'est récemment fondée dans un dessein analogue. Comme la Société des ouvriers de Paris, elle a en vue la construction d'un certain nombre de maisons dont les sociétaires, simples locataires d'abord, pourraient ensuite devenir propriétaires. Ici encore le principe de la coopération mène de la propriété collective à la propriété individuelle.

« Moyennant 2 francs par semaine, dit le président de la Société, M. Jules Simon [1], nous arriverons avec le temps à être chez nous et à n'avoir plus de terme à payer ; et, grâce à notre architecte, M. Stanislas Ferrand, qui a réduit la dépense à 3,000 francs pour Paris et tiré le meilleur parti possible d'un espace nécessairement restreint, nous ne serons vraiment pas mal chez nous et nous ne tarderons pas à être affranchis de la redevance de 2 francs par semaine et de toute redevance.

« M. Ferrand substitue la brique à la pierre, ce qui lui donne les moyens de faire des murs creux et d'envelopper la maison, en toute saison, d'une température moyenne de 13°. Il fait porter tout le poids des planchers et des combles sur quatre colonnes en fonte creuse qui reçoivent les eaux pluviales et les déversent dans des gargouilles également en fonte. Il économise ainsi de l'argent, puisque ses murs de briques coûtent 4 fr. 10 c. le mètre, tandis que le mur de moellons coûte 12 francs, et de l'espace (ce qui est encore économiser de l'argent), puisque son mur occupe, sur le sol, $0^m,13$ et les murs de moellons $0^m,50$.

« Nous avons, pour nos 3,000 francs, au rez-de chaussée, une pièce prenant jour sur les deux façades, avec un vestibule qui peut, au besoin, être transformé en cuisine. L'étage est com-

[1] *L'Exposition universelle illustrée.* — Lettres de M. Jules Simon.

posé de deux chambres à coucher indépendantes l'une de l'autre et séparées par une cloison sourde en briques creuses... Au-dessus est le grenier ; on pourrait, avec un peu de bonne volonté, l'appeler la *chambre des garçons*. La maison est pourvue de tous les aménagements nécessaires, cave, évier, ventilateurs, etc. Tout cela n'est pas somptueux, vous le devinez sans peine, mais c'est gai, commode, salubre. Le nid, en somme, est assez étroit, mais on comprend, sans trop d'efforts d'imagination, qu'on y puisse placer le bonheur. »

Le système de l'acquisition de la propriété au moyen d'économies hebdomadaires ou mensuelles a été appliqué, aux environs de Paris, il y a une quinzaine d'années. En 1852, la *Société du village l'Avenir* construisit ses premières maisons au bois de Romainville. Une expérience du même genre a été tentée à Vincennes. Aujourd'hui, de nouveaux essais se préparent à Colombes, près de l'élégante *villa Gallé*. La Société coopérative immobilière négocie en vue d'acquérir un terrain de 6,000 mètres qu'elle diviserait de manière que la colonie comprît quinze maisons au moins et trente au plus.

Il y a aussi à Paris une société dite des *Petits propriétaires*, qui construit des maisons pour les revendre à prix coûtant, soit en entier, soit par étages séparés, comme cela se pratique dans le midi de la France. Voilà une nouvelle mitoyenneté importée chez nous : la *mitoyenneté horizontale*, à côté de l'autre, l'ancienne, la *mitoyenneté verticale*.

Cette société, dont le fondateur, M. Fabien, avait exposé les plans au Champ de Mars, pourra rendre des services au petit marchand, à l'employé et à l'ouvrier qui ont déjà fait quelques économies.

Enfin, il existe un système de maisons ouvrières que nous ne pouvons omettre, car il aborde franchement la question des *habitations économiques* dans les grandes villes, je veux parler de la cité Jouffroy-Renault, à Clichy-la-Garenne.

— Mon but, me disait dernièrement la fondatrice de cette cité (car c'est une femme qui a eu le mérite de cette conception), mon but en fondant la cité de Clichy, a été de prouver, non par des paroles, mais par un fait, que l'on peut faire un placement sûr et suffisamment productif, en consacrant une partie de sa fortune à l'amélioration matérielle et morale de la condition des travailleurs.

Depuis que madame Jouffroy-Renault a commencé à bâtir ses maisons ouvrières, le mouvement qui entraîne les esprits dans ce sens s'est accentué. Il s'est accentué surtout au sein des classes laborieuses, qui ont tenté de se donner à elles-mêmes des centres stables de famille et un intérêt de propriété. Les efforts faits aussi librement par les individus ne sont pas les moins productifs. Quand l'ouvrier se crée à lui-même sa demeure, elle lui en devient plus chère, et les sacrifices lui coûtent moins pour l'acquérir et pour la conserver.

Au point de vue de la construction, deux plans se trouvaient en présence : faire de grandes maisons dont la place se prend plus en hauteur qu'en largeur, ce qui permet de réaliser une économie marquée sur l'ensemble ; ou bien bâtir des habitations séparées destinées à une seule famille, avec un jardin, si petit qu'il soit, pour la culture de quelques arbres et de quelques fleurs. L'expérience aidant, cette dernière idée a prévalu.

Nouvelle incertitude, au début, quant au mode de cession ; fallait-il louer, fallait-il vendre ?

La location, même à bon marché, n'entraîne avec elle aucune assurance de stabilité, elle n'amène aucune amélioration dans la situation de celui qui la contracte. Si minime que soit le loyer, il faut le payer demain comme aujourd'hui ; le loyer à bon marché est une séduction, ce n'est pas un encouragement. Il peut même dans quelques cas, se présenter avec le caractère de l'aumône. Il n'en est pas de même de la vente. La vente est faite au prix réel de l'immeuble. S'il y a service rendu, ce n'est que dans la pensée et dans la bonne volonté du constructeur. La propriété est véritablement achetée par l'ouvrier ; c'est le fruit de ses économies, la représentation sensible de son travail. Lui qui, dans l'origine, n'avait rien que ses outils et son courage, il se sentira fier de posséder enfin quelque chose.

Le mode de cession une fois choisi, il fallait le régler. La vente immédiate, à fort peu d'exceptions près, est impossible. On a donc adopté le régime des annuités. Pour acquitter sa dette, l'acquéreur a 15 ans. Pendant 15 ans, au commencement de chaque mois, il verse une quarantaine de francs, et, au bout de ce temps, non-seulement il est chez lui (il y était le jour de la signature du contrat) ; mais ce qui lui est doux à penser, il ne doit plus rien sur *son immeuble*. La vente est faite à l'homme et à la femme soli-

dairemont. Cette communauté d'intérêts a pour objet de garantir la communauté d'efforts et de bonne volonté.

La combinaison de madame Jouffroy-Renault, simple dans son principe, ingénieuse dans le jeu de son économie, féconde dans ses conséquences, a obtenu du jury de l'Exposition la récompense qu'elle méritait à tous égards, — une médaille d'or !

Quelques mots encore et je termine.

Tout près du bois de Vincennes, avenue de Charenton, de nouveaux modèles d'habitations ouvrières, avec jardinet, viennent de s'élever. On en doit les plans à un habile architecte, M. Blondel. J'ai vu des maisons qu'on peut acquérir à raison de 75 centimes par jour.

Ai-je épuisé la liste des tentatives faites ? Il s'en faut de beaucoup. Ici encore je me suis borné aux types les plus caractéristiques. Mon but n'était pas de faire une revue complète de tous les spécimens; les limites dans lesquelles je dois me renfermer ne me l'auraient d'ailleurs pas permis; mais je voulais retracer les cadres dans lesquels les principaux modèles viennent se placer pour ainsi dire d'eux-mêmes, je voulais indiquer l'esprit général qui a présidé à leur conception, et mettre en lumière les bienfaits qui peuvent résulter de leur sage économie.

Concluons :

Notre siècle, dont quelques contemporains se plaisent à médire, en appelle de leur jugement au jugement de nos arrière-neveux. Sans parler des conquêtes scientifiques dont il a été le témoin, il a posé avec hardiesse, étudié avec persévérance, et plus d'une fois résolu heureusement les plus grands problèmes sociaux. Il a vu naître la liberté du travail, il l'a agrandie et fortifiée. Il a voulu la liberté commerciale, il l'a fondée. Il a réconcilié deux frères ennemis, le capital et le travail ; il en a dégagé une force qui transporte les montagnes, l'association. Il a consacré l'égalité des races, et, sondant l'avenir, préparé la solidarité des peuples. S'il a eu des défaillances, il a eu aussi sa puissance et sa grandeur. Un de ses plus beaux titres sera d'avoir tenté de faire disparaître ces deux plaies qui ravagent l'esprit humain et le corps social : l'ignorance et la misère.

E. Menu de Saint-Mesmin.

II

DU MOUVEMENT DE LA POPULATION EN FRANCE

Bulletin de l'Académie de Médecine : MM. Broca, Bergeron, J. Guérin, Larrey. — *Gazette hebdomadaire de médecine et de chirurgie* : MM. Léon Lefort, G. Lagneau, Bertillon, Ely. — *Journal des Economistes* : M. Legoyt, *Conditions d'accroissement de la population française comparée aux autres populations européennes.* — M. Léonce de Lavergne, *Sur le dénombrement de la population en* 1866. — *La nature de l'impôt et la dépopulation des campagnes.* — M. Le Hardy de Beaulieu, *La dépopulation des campagnes.* — Dr Chenu, *Recrutement de l'armée et population de la France*, in-4°, Victor Masson, 1867. — *Bulletin de l'Académie de Médecine.* — *Mortalite des nourrissons*, MM. Husson, Broca, Blot, Devilliers, Brochard, Monot.

S'il est une question haute et digne de l'intérêt de tous ceux qui prennent part à la direction des États, c'est bien la marche et le mouvement de la population. En effet, l'entretien et l'accroissement régulier de cette collectivité d'individus qui constitue une nation est la condition nécessaire et fondamentale de sa prospérité, et l'on se ferait difficilement l'idée d'un peuple puissant par la pensée, l'art, l'industrie et le commerce, qui verrait chaque année décroître sa valeur numérique. Inversement il semble qu'une population féconde et croissante doive nécessairement prospérer dans toutes ses manifestations extérieures.

Si ces données générales sont vraies, comme il y a lieu de le penser, on s'explique pourquoi les discussions qui se sont élevées cette année dans le monde savant, sur notre sujet, ont fait descendre de nombreux champions dans l'arène, pourquoi ces controverses ont été suivies avec une attention anxieuse par toutes les personnes qui se piquent de connaître l'histoire réelle de leur temps et la situation de leur pays.

Depuis une dizaine d'années, la presse étrangère, et plus récemment la presse française, avaient à diverses reprises apprécié plutôt qu'étudié l'état de notre population. En général, présentées sous un jour fâcheux, sans preuves suffisantes, ces appréciations n'avaient guère trouvé que des incrédules ou des indifférents.

Les événements politiques devaient réveiller en sursaut les

sceptiques et les dormeurs. L'unité italienne, l'unité allemande, les faits d'armes imprévus qui avaient donné naissance à cette dernière, tout cela était bien fait pour inspirer le besoin de connaître en détail et en toute vérité la valeur exacte de notre population, tant au point de vue de sa qualité qu'à celui de sa marche numérique.

Bientôt même à ces motifs de grave préoccupation s'ajoutait l'annonce d'une loi nouvelle (qui sera peut-être votée quand ces lignes paraîtront) sur l'organisation de l'armée, loi dont l'effet possible sera d'accroître la puissance militaire du pays, — question discutable, — mais dont l'effet certain sera d'accroître ses charges financières et de soustraire un plus grand nombre d'hommes qu'auparavant au rôle normal du citoyen.

I

Nous n'avons pas l'intention de suivre pas à pas tous les faits qui ont été produits soit à la tribune académique, soit dans les publications. Cette méthode nous exposerait à nous égarer et à perdre de vue les conséquences capitales qui ressortent du débat. Il nous semble préférable de dégager le terrain en indiquant d'abord les points accessoires qui ont été mis en lumière pour nous attacher ensuite au fait principal, à ses causes et à ses conséquences.

Ce n'est pas que ces points accessoires soient de minime importance. Loin de là, mais ils ne sont qu'une dépendance ou une branche de la question générale. A ce titre, exposons rapidement les notions qu'on possède sur ce qui a été nommé la dégénérescence de la race française.

On avait avancé que, non-seulement la population de la France diminuait de nombre, mais qu'en outre les membres de cette population devenaient de plus en plus petits, chétifs, infirmes, et qu'on observait à la fois la décadence de la quantité et de la qualité; choses bien distinctes, n'ayant pas entre elles de lien nécessaire, mais qui se seraient réunies pour miner l'avenir de notre pays.

De pareilles propositions peuvent être énoncées, mais il est vraiment difficile de les prouver ou de les infirmer. En effet, une

moitié de la population, tout le contingent féminin, échappe absolument, pendant toute la durée de la vie, à tout contrôle relatif à la taille, à la vigueur de la constitution, aux infirmités, etc. De ce côté donc, aucun document. Quant à la population mâle, tous les survivants après la vingtième année constituent ce qu'on appelle la classe au point de vue du service militaire. Chaque année, une partie de la classe, les deux tiers environ, passe devant les conseils de révision et subit un examen rapide, il est vrai, mais suffisant cependant pour fournir de précieux renseignements. C'est là seulement qu'on peut trouver une base pour apprécier la valeur physique de la nation. Cette base est bien incomplète, comme on le voit; il serait préférable sans doute, au point de vue de la science, que toute la classe fût examinée chaque année, ainsi que l'a demandé M. Larrey devant l'Académie de médecine, mais actuellement nous n'avons que ce document partiel, et il importe qu'on soit bien renseigné sur sa nature et sur son origine.

Maintenant, voyons les faits. On appelle apte au service militaire tout homme de vingt ans passés exempt d'infirmités et ayant la taille réglementaire. Le nombre proportionnel des individus qui présentent ces conditions indique l'aptitude militaire. Les chiffres recueillis depuis 1831 donnent une augmentation presque régulièrement croissante, surtout si on compte à partir de 1836, époque à laquelle les conseils de révision commencent à fonctionner avec expérience et régularité. En 1836, sur 100 jeunes gens examinés, on en trouvait 61,73 aptes au service ; en 1864, il y en a 67,06. C'est donc une différence de 5 pour 100 en bénéfice obtenue en moins de trente ans.

Le chiffre des exemptions pour défaut de taille et pour infirmités concorde avec le précédent. Malgré l'habileté croissante des médecins militaires en matière de diagnostic, malgré leurs soins à éliminer toutes les recrues que leur constitution ou leur santé rendraient impropres au service, enfin malgré l'augmentation énorme des contingents qui ont été portés de 60,000 hommes à 100,000 et même plusieurs fois à 140,000 hommes, le nombre des exemptions pour infirmités a un peu baissé. Il est passé de 3,000 sur 10,000 examinés en 1836, à 2,762 en 1864.

De même pour le défaut de taille. Ici la différence est beaucoup plus sensible. Notons que la constatation des infirmités est affaire

d'appréciation, d'habileté, que c'est un jugement sujet à varier suivant les points de vue et les individus, tandis que la mesure de la taille n'a rien de variable ni d'incertain. Le conscrit a ou n'a pas la taille. Or, il y a trente ans, on comptait environ 1,600 cas d'exemption pour défaut de taille. Ce chiffre s'est graduellement abaissé, et en 1864, il n'était plus que de 1,000 sur 10,000 examinés. Ainsi, l'aptitude militaire augmente; le nombre relatif des infirmités est stationnaire, malgré des recherches plus minutieuses; le nombre des tailles de conscrit au-dessous de $1^{m},56$ a considérablement diminué. Voilà ce qu'on sait de positif.

Dirons-nous avec quelques chercheurs distingués que la taille moyenne des Français tend à s'équilibrer, c'est-à-dire que les petites et les hautes tailles se rapprochent l'une et l'autre d'un type moyen. C'est possible, mais on ne peut encore voir dans ces propositions que des conjectures plus ou moins probables.

Mais ce qu'il est bon de dire et de répéter de manière à ce que cela soit de mieux en mieux connu, c'est que, si depuis 1792 jusqu'en 1815, nous avons eu de grandes guerres, de grandes victoires, de grands désastres, les enfants nés à cette époque étaient petits; qu'après 1815, la paix a vu naître des enfants plus grands; que cette élévation de la taille, d'abord assez rapide, ainsi qu'en témoignent les tailles des contingents de 1836 à 1846 (nés de 1816 à 1826), se ralentit graduellement à mesure que s'éteignent les influences qui avaient agi au commencement du siècle.

Avant de quitter ce sujet, il ne sera pas inutile de mentionner ici un fait assez singulier. Le ministère de la guerre, qui est l'ogre de l'État, n'a pas de bureau spécial de statistique. Les travaux de cet ordre sont faits, en partie dans les préfectures, en partie dans les bureaux de l'administration centrale, mais sans direction et sans contrôle dans les méthodes. Cette situation regrettable, contre laquelle a réclamé avec énergie M. Broca en pleine Académie de médecine, a des inconvénients faciles à prévoir. Beaucoup de documents ne sont pas recueillis, d'autres ne sont pas mis à profit, enfin des erreurs parfois très-graves se glissent inaperçues dans des travaux faits ainsi à bâtons rompus. Ce sont les chiffres officiels du ministère de la guerre qui avaient motivé la croyance que la taille des contingents était en voie de

décroissance. D'après ces chiffres, elle eût été de 1m,670 en 1836; de 1m,652 en 1857, et de 1m,658 en 1864.

Ce n'était qu'une erreur de calcul, et M. Broca a prouvé sans être contredit que « tout ce qu'il y a dans les comptes rendus du recrutement relativement à la taille moyenne doit être considéré comme nul et non avenu. » Rétablissant ensuite les chiffres réels pour les années 1836, 1857 et 1864, il a montré que les prétendues différences qui allaient jusqu'à 12 et 18 millimètres se réduisaient en fait à 2/10e de millimètre pour toute la période et que l'écart n'avait jamais atteint 1 millimètre.

Cela suffit pour démontrer que la race française, étudiée dans ses jeunes hommes de 20-21 ans, n'est pas en voie de dégénérescence physique, que le nombre proportionnel des infirmes a légèrement diminué, qu'il en est de même pour les très-petites tailles. Nous pourrions ajouter encore que les contingents actuels de 100,000 hommes sont aussi bien, ou mieux, ne sont pas plus mal supportés par la population que les contingents de 40,000 ou de 60,000 hommes ; qu'aujourd'hui (1864), pour obtenir 100 recrues, on n'examine que 203 hommes, tandis qu'il y a quarante ans il fallait en examiner 276. Tous ces faits s'enchaînent et déposent dans un même sens.

II

Étant donc établi que la race ne dégénère pas, c'est-à-dire que les individus valent au moins autant aujourd'hui qu'au commencement du siècle, voyons comment se comporte le mouvement de la population.

D'après les recensements, la France comptait, en 1801, 27,349,003 habitants. En 1866, sans les annexions de Nice et de la Savoie, elle en a 37,392,737. C'est donc en 65 ans un accroissement de 10,043,734 habitants. Cette augmentation n'a pas suivi une marche régulière ; elle est plus forte dans les trente premières années que dans les trente secondes, ce qui s'explique par des omissions probables dans les premiers recensements et par le faible accroissement de la période 1846-1856. Cette période comporte une révolution, une guerre meurtrière, deux longues chertés du blé et deux invasions de choléra. En raison de

ces faits, l'accroissement est de 4,433,485 de 1806 à 1836 et seulement de 3,851,827 de 1836 à 1866.

A ce compte, et sans entrer dans de plus amples calculs, on peut prévoir qu'il faudrait environ 180 ans pour que la population de la France fût doublée. Ce chiffre n'est pas juste, mais il se rapproche beaucoup de la vérité, les chiffres calculés étant 183, 188 ou 198, suivant les périodes servant de base.

Cet accroissement lent, mais en général continu, doit être rapporté à deux causes : la diminution de la mortalité et l'excédant des naissances sur les décès.

En effet, dans les soixante premières années du siècle, la mortalité passe de 1 décès annuel sur 34,81 habitants à 1 décès sur 42,30 habitants, et cette amélioration est régulière, sauf quelques périodes traversées par des mortalités accidentelles, guerres et surtout épidémies.

D'autre part, le nombre des naissances a toujours surpassé celui des décès, sauf en 1854 et 1855, années marquées par la guerre et le choléra.

Avec ces données, on comprend que l'accroissement de la population, calculé d'après l'excédant des naissances sur les décès, doive donner un chiffre inférieur à l'excédant constaté par les recensements, puisqu'il manque au premier chiffre le bénéfice numérique des étrangers établis à l'intérieur ou immigrés, qui pour toute la période ne dépassent pas 6 à 700,000 individus.

Ce premier aperçu est absolument satisfaisant, sauf sur un point : la lenteur de l'accroissement. Cependant il faut songer que s'il est au pouvoir de l'homme de faire reculer le chiffre de la mortalité en combinant vers ce but toutes les forces sociales et scientifiques, ce pouvoir a cependant des limites et que, d'ailleurs, il ne peut se manifester qu'avec lenteur et, par suite, de laborieux efforts longtemps soutenus. Il est donc infiniment désirable pour la prospérité d'une nation qu'à cette première source d'accroissement nécessairement restreinte, elle ajoute un renouvellement ou une reconstitution constante due à l'excès des naissances sur les morts.

Cette condition est réalisée pour la France dans une mesure si parcimonieuse, si incertaine et, disons-le, si graduellement décroissante, que cela doit être un sujet de grave préoccupation pour tous les Français.

Négligeant le chiffre des mort-nés, qui n'augmente pas, mais qui est seulement relevé avec plus de soin que par le passé ; négligeant encore le chiffre des enfants illégitimes, qui n'a guère varié depuis quarante ans et qui oscille entre 70,000 et 75,000, nous voyons que la fécondité des mariages, qui était au commencement du siècle de 4,24 enfants, n'est plus aujourd'hui que de 3,16; ou bien, pour prendre un autre rapport plus significatif et plus exact, qu'il naissait, en 1821, 1 enfant sur 31,5 habitants, tandis qu'il n'y a plus aujourd'hui qu'une naissance sur 37,54 habitants. Cette décroissance de la natalité est progressive; elle semble même dater de la fin du dernier siècle, mais elle s'accuse avec énergie depuis 1846, atteint son maximum en 1854 et 1855 et s'atténue légèrement depuis, mais en restant bien loin du chiffre de 1821.

Cette décroissance proportionnelle sera peut-être mieux comprise en chiffres absolus. Avant 1847, les naissances dépassaient les décès de 200,000 par an. Cette différence est tombée à 75,000, puis à 50,000. Depuis dix ans, elle est de 135,000. Ces faits peuvent encore être présentés sous une autre forme : si depuis 1821 la natalité était restée la même, c'est-à-dire s'il était né chaque année un enfant pour 31,5 habitants, nous aurions eu à enregistrer 3,953,475 enfants qui ne sont pas nés.

Telle est donc la situation : la population augmente, mais cette augmentation est lente, parce que la fécondité baisse graduellement. Ce mouvement de baisse, quoique ralenti dans sa marche, n'accuse encore aucune tendance rétrograde.

III

Cette situation est-elle bonne ou mauvaise, inquiétante ou rassurante? C'est toute la question. Ici nous abordons les difficultés. L'erreur est si facile sur les immenses valeurs numériques que la statistique met en œuvre, les méthodes et les procédés ont eux-mêmes besoin d'une telle épuration que l'on conçoit les jugements divers et opposés qui ont été formulés.

Pour les uns, en effet, notre population se comporte d'une manière satisfaisante. Elle s'accroît avec lenteur, parce que cela est dans l'ordre normal des choses, vu l'état de développement intel-

lectuel et de bien-être de notre pays ; la vie moyenne augmente avec régularité ; l'âge moyen est l'un des plus élevés de l'Europe ; la mortalité diminue ; enfin le chiffre proportionnel des adultes et des vieillards, c'est-à-dire la partie productive de la population, est plus considérable en France qu'en tout autre pays.

Pour d'autres, au contraire, la diminution progressive de la natalité ne s'explique ni par la densité de notre population ni par une sorte de loi naturelle qui ne se confirme pas dans les pays voisins. L'accroissement de la vie moyenne, de l'âge moyen, du chiffre relatif des adultes et des vieillards, ne sont qu'une erreur de calcul et un funeste mirage.

Quant à nous, au milieu de ces opinions contradictoires, nous croyons, après une longue et laborieuse méditation, qu'il y a de part et d'autre exagération et que le seul fait important est la diminution graduelle de la natalité, diminution graduelle que rien ne prouve devoir s'arrêter et qui, si elle se prolongeait encore, serait d'abord un danger imminent, puis une véritable décadence.

Une courte explication est nécessaire avant d'aborder cette démonstration qui d'ailleurs sera d'autant simplifiée.

Une population ne peut augmenter de nombre que de trois manières : par l'immigration, procédé exogène et artificiel qui ne prouve rien quant au mouvement de population initiale ; par une natalité croissante ou du moins constante ; par une mortalité décroissante.

Lorsque la mortalité diminue, un certain nombre de vivants vivent plus longtemps, d'où accroissement de la mesure qu'on a nommée vie moyenne, et de l'âge moyen des vivants ; d'où encore augmentation numérique, puisque ces survivants s'ajoutent en plus grand nombre au reste de la population.

Ce procédé, consistant surtout dans la conservation la plus prolongée des individus existants, a cet avantage de donner la plus grande somme relative d'êtres productifs et le plus petit nombre d'enfants. Si bien qu'on pourrait théoriquement concevoir une population n'ayant qu'un nombre de naissances égal à celui des décès, qui cependant s'accroîtrait numériquement par la diminution indéfinie de la mortalité. Mais ce n'est là, bien entendu, qu'une vue de l'esprit, car la vie a un terme fatal, et s'il est désirable que le plus grand nombre l'atteigne, nul n'a l'espoir de le

dépasser. Aussi la diminution de la mortalité n'est-elle qu'un des éléments qui contribuent à élever le chiffre d'une population, élément supérieur en résultats immédiats, mais très-inférieur en puissance, c'est-à-dire en résultats éloignés, au développement de la natalité.

Une natalité abondante introduit dans la population un nombre relativement considérable d'individus jeunes. Par ce seul fait, la proportion des adultes et des vieillards diminue, non pas qu'il y en ait moins en réalité, mais parce que le nombre des enfants augmente. Par là encore l'âge moyen des vivants est moins élevé, puisque la population comporte un plus grand nombre d'individus d'un petit âge. Enfin la vie moyenne s'abaisse dans une certaine mesure, au moins dans la majeure partie des formules qu'on emploie pour ce genre de calcul. Nous essayerons d'éclaircir ce sujet difficile par des développements ultérieurs.

Quant à l'émigration et à l'immigration, leur résultat est facile à prévoir. L'une et l'autre portent surtout sur les adultes, de telle sorte que, dans l'un et l'autre sens, elles rompent l'équilibre entre les diverses catégories d'âges des habitants : enfants, adultes, vieillards. La première accroît en général la mortalité et la natalité tout ensemble, à la condition toutefois qu'elle n'ait pas été trop forte. Pour l'immigration, son effet habituel est de faire baisser la mortalité, car les immigrants sont jeunes et adultes pour la plupart, d'élever le chiffre de l'âge moyen, celui de la vie moyenne et souvent celui de la natalité. Ces influences diverses ne se font sentir que pendant la durée du mouvement et cessent un certain temps après qu'il s'est arrêté.

Ces deux causes artificielles de modification numérique d'une population apportent une perturbation profonde dans les résultats dus aux deux causes fondamentales précédemment indiquées. Dans certains cas, elles peuvent en voiler complétement les effets. C'est ainsi que l'étude de la mortalité et de la vie moyenne, publiée par l'administration municipale de la ville de Paris, est entachée d'une immense erreur. Une ville qui envoie chaque année dans les départements près de 20,000 nourrissons (le tiers de ses naissances), lesquels donnent environ 4,000 morts dans la première année, fait par là, et par cela seul, baisser le chiffre de sa mortalité dans une très-forte proportion sans que cela témoigne de la moindre amélioration. Et de même si cette ville voit chaque

année 60,000 ou 80,000 immigrants se fixer dans ses murs, le calcul fait monter l'âge moyen et la vie moyenne, mais cela n'aura pas changé d'un iota la condition des précédents habitants, qui sont la véritable population initiale.

Il est donc de la plus haute importance de tenir un compte rigoureux des déplacements de population dès que ceux-ci atteignent un chiffre proportionnel de quelque valeur.

En résumé, toute population est soumise à deux influences primordiales : la natalité et la mortalité ; à deux influences accidentelles : l'émigration et l'immigration ; c'est la valeur relative et le jeu de ces influences qui déterminent sa constitution et son mouvement.

Dès lors on conçoit combien les résultats peuvent être variables suivant l'intensité et la combinaison de ces influences.

Que l'on suppose en regard d'une natalité puissante, une forte mortalité et le progrès est nul ; il apparaît si la mortalité baisse, et c'est la décadence si la natalité languit. Prenons, au contraire, une mortalité médiocre et une vigoureuse fécondité, mais avec un mouvement plus ou moins actif d'émigration ; suivant l'activité de ce mouvement, la population pourra s'accroître, rester stationnaire ou décroître. Supprimons l'émigration et de suite l'accroissement marche d'un pas rapide. Ces exemples, qui pourraient être multipliés, suffisent pour l'intelligence du sujet, et nous n'avons plus qu'un seul point à indiquer, mais ce point est important.

Si des causes diverses et diversement combinées peuvent produire le même résultat numérique, ce résultat n'est pas le même quant à la constitution de la population, et on reconnaît d'une manière durable la nature des causes dominantes, de même que, dans le cours d'un fleuve dont le débit est régulier, les affluents marquent une trace variable et proportionnée au volume changeant de leurs eaux.

Si maintenant nous jetons un coup d'œil comparatif sur les diverses populations de l'Europe, nous allons voir s'accuser et se caractériser dans leurs résultats les forces modificatrices dont nous avons exposé le mode d'action.

La France occupe le dernier rang tant au point de vue de la fécondité des mariages qu'à celui de la fécondité générale (naissances légitimes et illégitimes). La majeure partie de l'Allemagne

la dépasse très-notablement. L'Angleterre, la Prusse, la Russie, l'Italie, l'Espagne et le Portugal ont de 3,99 à 4,60 enfants par mariage, tandis que la France en a 3,07; soit un enfant pour 20 à 28 habitants, la France n'en ayant qu'un pour 37 habitants.

En raison de cette infécondité relative, la France devrait être le pays dont la population mette le plus longtemps à doubler, mais comme sa mortalité n'est pas très-élevée et que l'émigration y est très-peu considérable, elle n'est pas tout à fait au dernier rang et laisse derrière elle l'Espagne (féconde mais émigrante) et l'Autriche (féconde et à forte mortalité). Tandis que le doublement ne doit être atteint chez nous qu'au bout de 180 ans environ, la Saxe, la Prusse, la Russie, la Suède-Norwége, l'Angleterre arrivent à ce résultat entre 40 et 60 ans; la Belgique, la Hollande, le Portugal en moins de 100 ans.

Avec sa faible natalité, son émigration presque nulle et sa mortalité assez faible, la France représente pour un même chiffre de population une plus forte proportion d'adultes et de vieillards que la plupart des pays voisins. 38,000,000 Français valent plus d'hommes adultes que 38,000,000 Allemands ou Anglais, et on a fait ressortir avec raison qu'en cas pressant, notre défense nationale offre plus de ressources immédiatement utilisables que celle de nos voisins. Mais il ne faut pas se faire illusion et bien prévoir que ce qui est vrai aujourd'hui le sera moins dans dix ans et ne le sera plus du tout dans cinquante, puisque ces mêmes voisins auront doublé, tandis que nous n'aurons pas gagné le tiers de notre chiffre.

L'Angleterre a une natalité plus élevée que la nôtre et une mortalité un peu plus faible, mais c'est surtout par la natalité qu'elle nous dépasse. L'émigration lui enlève chaque année un notable contingent; néanmoins, comme les deux autres conditions sont très-favorables, son accroissement est rapide. Sa population comporte une proportion d'adultes et de vieillards plus faible que la nôtre, et en revanche une proportion d'enfants plus considérable.

L'Autriche est un pays où la natalité et la mortalité agissent presque avec la même énergie, s'annihilant à peu près l'une par l'autre. C'est ce qui explique comment sa période de doublement est si longue. Du reste, les circonstances politiques ont déterminé des crises dans cette population et fait éprouver des changements

brusques et en général défavorables aux coefficients de natalité et de mortalité.

En Prusse, la mortalité est plus forte qu'en France, et cet excès porte surtout sur les enfants de 0 à 14 ans et sur les vieillards. Mais la différence entre la fécondité des deux pays est encore plus sensible. Quoique inférieure à l'Angleterre sous le rapport de la mortalité, la Prusse double sa population presque aussi vite que la Grande-Bretagne, grâce à sa natalité prépondérante. Il faut ajouter que la Prusse, comme la plupart des États de l'Allemagne, a eu à supporter un fort mouvement d'émigration qui a eu son maximum en 1852-55, qui s'est prolongé suivant les pays (Bavière, Wurtemberg, Hanovre) avec une intensité variable et est maintenant réduit à de faibles proportions. Ce mouvement a été assez énergique pour voiler dans plusieurs États et pendant assez longtemps l'accroissement dû à l'excédant des naissances, toujours fortement accusé, sauf pour les périodes de disette et d'épidémie.

Comme l'Autriche, la Russie a une forte mortalité, mais sa natalité (l'une des plus élevées de l'Europe) est plus forte encore et détermine un accroissement rapide (1,24 pour 100 par an).

L'une des populations les plus intéressantes est celle de la péninsule scandinave, et surtout celle de la Norwége. Malgré le climat, elle a la plus faible mortalité et l'une des plus fortes natalités de l'Europe. Sans l'émigration, qui lui fait subir quelques pertes, elle se doublerait en 41 ans; c'est la plus courte période connue. Comme les naissances et les décès subissent la même influence favorable, la population est admirablement répartie entre tous les âges, et tandis que sur 1,000 naissances nous n'avons plus que 55 survivants à 80 ans, elle en a encore 89. En conséquence, l'âge moyen des vivants et celui des décédés sont les plus élevés de notre monde européen. Ce petit pays, agricole et marin, placé sous un climat rude mais harmonisé par la mer et les dernières bouffées de chaleur du Gulf-Stream, ayant des institutions politiques libérales et une instruction presque universelle, fait la leçon à l'Europe comme marche et tenue de population. Il est le seul qui ne le cède à aucun autre sous aucun rapport quant au résultat final.

Maintenant nous n'avons plus qu'à laisser le lecteur conclure par comparaison, et nous n'insisterions pas davantage si nous

n'avions à motiver le jugement que nous avons porté au commencement de ce chapitre, à savoir, que la diminution progressive du nombre des naissances est le seul fait qui doive fixer l'attention et que, s'il y a exagération à dire avec M. Broca que « le nombre des naissances n'a pas l'importance presque exclusive qu'on lui attribue, que c'est un faux critérium de la prospérité d'une population, » et qu'en somme on peut être rassuré sur le développement numérique de la population, il n'y a pas moins d'exagération à affirmer avec M. Lefort, dont le travail est du reste fort remarquable, que la mortalité n'a pas diminué et que l'augmentation de la vie moyenne n'est due qu'à une erreur de calcul.

Si nous avons été suivis jusqu'ici, il sera aisé de voir pourquoi nous ne saurions partager complétement l'optimisme de M. Broca. En effet, le facteur le plus énergique, le plus efficace, la natalité, subit en France — on ne saurait trop le répéter — une constante diminution, un amoindrissement progressif. Voilà le danger, voilà le cauchemar, et deux années de suite dans ce siècle, en 1854 et 1855, on a vu le chiffre des naissances rester inférieur à celui des décès. On dira sans doute que ce n'est pas par défaut de naissances, mais par excès de morts que ce douloureux phénomène s'est produit. On rappellera le siége de Sébastopol et le choléra, mais ce sera une mauvaise défense, parce que la période de 1800 à 1815 permettra de répliquer immédiatement que, même à cette époque, avec les terribles batailles et les immenses et incessantes levées d'hommes, le chiffre des naissances dépassait annuellement celui des décès de près de 200,000. Ainsi nos sanglantes victoires, nos revers, Saragosse, Moscou, la Bérézina, Leipzig, la campagne de France et Waterloo, qui moissonnaient les hommes comme des épis mûrs, n'empêchaient pas les nombreuses naissances. Que dire encore? Ni les disettes de 1817, de 1828 à 1831, ni le choléra de 1832 n'avaient chargé le plateau de la mort plus que celui de l'entrée dans la vie. A travers toutes ces épreuves, la fécondité s'était maintenue gardant sa supériorité nécessaire, et voilà qu'aujourd'hui, pour une guerre éloignée, circonscrite, ne troublant ni la tranquillité publique, ni le commerce, ni le bien-être du pays, pour une épidémie bornée à une seule année, la mort l'emporte sur les naissances de 104,924 en deux ans !

Ces faits prouvent malheureusement une chose, c'est que l'équi-

libre peut être rompu ou qu'il a pu l'être il y a treize ans, par des causes qui ont été inefficaces pendant tout le commencement du siècle. Nous avons approché de cette situation qu'on peut nommer l'équilibre instable, et tout progrès dans ce sens serait plus qu'une menace. Si un politique a pu dire avec vérité : Il n'y a plus une seule faute à commettre, il ne serait pas moins juste de dire : Il n'y a plus un seul degré de fécondité à perdre.

C'est assez de préoccupation, et nous n'ajouterons pas avec M. Lefort que la mortalité n'a pas diminué et que la vie moyenne n'a point augmenté. M. Lefort a eu raison de faire ressortir avec insistance toute la valeur de notre infécondité croissante, mais malgré la solidité de ses arguments, il se trompe fatalement sur la vie moyenne et la mortalité, car, s'il avait raison, si natalité, mortalité et vie moyenne déclinaient ensemble, il y a des années que notre population serait en état de diminution effective. Or, il n'en est rien ; nous savons que la natalité baisse, il est donc indispensable que la mortalité ait diminué et, par suite, que la vie moyenne ait augmenté. Cela mérite explication. Bien que notre mortalité suive une marche d'amélioration progressive et qu'elle occupe un bon rang dans l'échelle européenne, M. Lefort réplique : Vous êtes victimes d'une illusion ; si vous aviez une proportion d'enfants égale à celle de la Prusse ou de l'Angleterre, la première enfance (0 à 1 an) perdant 17 à 18 pour 100, vous auriez de ce chef un surcroît de mortalité qui anéantirait votre bénéfice. En réalité, vous n'avez gagné que juste la proportion de morts afférente aux enfants qui vous manquent.

C'est là une affirmation gratuite qui aurait besoin d'être appuyée sur des calculs rigoureux. Il faudrait démontrer que les deux éléments se correspondent exactement, et il est absolument improbable qu'on y arrive, sans quoi, encore une fois, la population diminuerait au lieu de s'accroître. D'ailleurs il n'est pas exact de dire que les pays à forte natalité aient en même temps une forte mortalité, ce qui appuierait la thèse que nous combattons. Il suffit de rappeler que l'Angleterre et la Norwége, contrées fécondes, comptent dans les plus faibles mortalités.

Quant à la vie moyenne, c'est une question délicate à exposer. La vie moyenne n'est pas une réalité, ce n'est pas un rapport proportionnel simple ; c'est une mesure, une notation pour

donner une idée concrète de plusieurs faits simultanés dans la marche d'une population. En conséquence, les formules qui servent à ce calcul ont subi de nombreuses vicissitudes et sont toutes passibles de critiques, chacune d'elles ayant à la fois des inconvénients et des avantages. M. Lefort a pris à partie deux de ces formules, l'une qui est le rapport du chiffre des naissances annuelles avec celui de la population, l'autre qui est l'âge moyen des décédés.

Négligeons la première critique, qui s'adresse à une formule peu usitée et ne pouvant à aucun titre s'appeler Vie moyenne; attachons-nous surtout à l'âge moyen des décédés.

Il est clair que si un accident brusque, rapide, enlève tout à coup à une population une forte proportion d'individus âgés, le chiffre indiquant l'âge moyen des morts de l'année s'élève plus ou moins, suivant les chiffres d'âges. Si on pouvait supposer que pendant un an tous les morts aient atteint l'âge de 20 à 60 ans, l'âge moyen des décédés serait 40 ans. Inversement, si tous les morts avaient de 0 à 20 ans, le chiffre tomberait à 10 ans. Or, la campagne de Crimée ayant coûté la vie à 95,000 soldats âgés de plus de 20 ans, la vie moyenne, calculée par l'âge moyen chargé de ce nombre énorme de décédés relativement âgés, s'est trouvée accrue sensiblement. M. Lefort ajoute encore que notre faible chiffre de mortalité enfantine (venant de ce que nous avons peu d'enfants proportionnellement) contribue encore à élever le chiffre de l'âge moyen des décédés, lequel âge moyen est appelé à tort vie moyenne par toutes les statistiques officielles.

Il y a une part de vérité dans ces critiques, mais seulement une part. Sans doute l'âge moyen des décédés n'est pas une mesure irréprochable, tant s'en faut. Cependant, quand on considère cet âge moyen pendant une longue période, quand on voit que s'il peut être brusquement élevé par des faits accidentels, il n'en continue pas moins sa marche régulièrement ascendante, malgré la suppression de ces influences passagères, on en doit conclure que ces influences ne sont pas dominantes et se garder, par conséquent, de croire que l'âge moyen donne seulement la mesure de ces influences. Or, l'âge moyen des décédés, calculé par périodes quinquennales depuis 1806 jusqu'en 1864, constitue une série ascendante depuis 31,08 ans jusqu'à 37,83 ans, et, remarquons-le, la période 1860-1864 (37,83), période de paix, a

un chiffre plus élevé que la période 1850-1855 (36,66) dont nous avons parlé plus haut.

Mais il y a plus. Quand on étudie l'application d'autres formules à l'étude de la vie moyenne, on constate la même marche ascendante. Les chiffres diffèrent, mais la progression est la même. Ainsi, d'après la formule de Ch. Dupin (population divisée par la demi-somme des naissances et des décès), la vie moyenne passe, entre 1806 et 1860, du chiffre de 32,43 ans à celui de 42,08 ans. D'après les calculs compliqués qui donnent pour résultat *l'espérance mathématique*, ou vie moyenne calculée d'après les conditions propres à chaque période d'âge, celle-ci a été de 29 ans à la fin du dix-huitième siècle (Duvillard), de 39,50 ans en 1817-1831 (Demonferrand) et enfin de 40,15 ans en 1840-1859 (Bertillon).

Cette marche parallèle des résultats obtenus par les procédés les plus divers, et particulièrement par le dernier, témoigne, à notre sens, de la réalité du fait. La vie moyenne, la somme d'années vécues par chaque individu s'est réellement accrue, et nous croyons que M. Lefort s'est mépris en considérant comme influences fondamentales sur la marche de la vie moyenne des circonstances qui peuvent bien modifier temporairement et partiellement les résultats de quelques formules, mais qui ne sont ni assez persistantes ni assez importantes pour modifier toute la série.

Que d'ailleurs il y ait d'étroits rapports entre la vie moyenne et la natalité, cela n'est pas contestable. Tous les faits démographiques se tiennent et s'enchaînent. Il n'y a rien de surprenant à observer des différences relatives à ce calcul chez des peuples différents pour la composition de leur population, mais ce serait une profonde erreur de croire et de dire que l'élévation de la vie moyenne est seulement l'indice d'une forte mortalité sur les adultes ou d'une natalité insuffisante. L'exemple de la Norwége suffit à prouver le contraire. Là, par une heureuse pondération, tout concourt au même but, et la vie moyenne, de quelque façon qu'on l'étudie et qu'on la calcule, est très-élevée.

Arrêtons-nous dans cette partie un peu abstraite de notre exposé, et concluons. Ce sur quoi il ne faut se faire aucune illusion, ce qu'il faut savoir reconnaître pour le combattre dans la mesure du possible, c'est la décroissance inquiétante de notre natalité. A ce point de vue, nous sommes les derniers en Europe et nous déclinons encore.

IV

La lente progression de la population française étant manifestement due au petit nombre proportionnel de ses naissances, est-il possible de trouver la cause ou les causes de cette infériorité?

Établissons d'abord que le nombre des naissances illégitimes étant à peu près stationnaire depuis quarante ans, cette valeur peut être négligée et ne peut fournir aucun indice, précisément en raison de son immobilité; ensuite que le nombre des mariages, loin de diminuer, a plutôt subi une très-légère augmentation.

De 1820 à 1830 il y avait 0,77 mariages pour 100 habitants, ou 1 mariage par 129 individus. Dans la période 1861-1864, ces nombres passent à 0,80 sur 100 et 1 sur 125.

C'est donc bien positivement la natalité des unions légitimes qui décline. Il faut dire ici natalité et non fécondité. En effet, le mot fécondité préjugerait la question et rien, absolument rien, ne permet un semblable jugement. La natalité est un fait, elle est abondante ou rare; on le constate. La fécondité est une qualité, une aptitude, et rien ne prouve qu'elle n'existe pas ou qu'elle s'affaiblisse parce que les naissances diminuent; bon nombre de circonstances pouvant s'opposer à ce que cette qualité ne se révèle dans toute sa plénitude. Suivant un certain nombre d'économistes et de publicistes, la natalité décroîtrait fatalement dans toute population à mesure que cette population augmente et à mesure que sa richesse et son bien-être se développent.

Ces idées qui ont eu pour premier promoteur Malthus ont été acceptées depuis et même regardées comme de véritables lois par des savants éminents. Un certain nombre de faits semblent les confirmer, mais sans entrer ici dans le détail de cette question qui nous entraînerait à des développements déplacés, nous nous contenterons de faire observer : 1° que la France n'ayant que 68 habitants par kilomètre carré, tandis que l'Italie en a 83; la Hollande, 101; l'Angleterre, 132; la Saxe, 148; la Belgique, 160; 2° que la Saxe, la Prusse et l'Angleterre, pays riches et progressifs, ayant un remarquable mouvement de natalité légitime, il est impossible d'arguer pour la France de la densité de sa popu-

lation et de l'accroissement de sa richesse. S'il y avait là une véritable loi, elle devrait manifester son existence en tout temps et en tout lieu et on ne devrait pas observer des exceptions aussi grosses que celles de la Prusse et de l'Angleterre où on voit une natalité puissante persister malgré le rapide développement du bien-être et de la richesse. En tout cas, et en admettant même que ces influences aient une action plus ou moins fréquente, sinon constante, on comprend difficilement comment elles s'accuseraient au plus haut degré dans le pays qui est loin d'avoir le maximum de densité et qui n'est ni plus riche, ni plus prospère que l'Allemagne et l'Angleterre. En d'autres termes, pour que l'explication fût valable, il faudrait que la France eût en même temps et la population la plus dense et la population la plus riche de l'Europe, puisqu'elle a d'autre part la plus faible natalité. Puisque ce rapport n'existe pas, d'une manière constante et régulière, nous nous croyons fondé à ne pas lui demander la raison des faits que nous étudions.

Nous désirons être bien compris; il n'entre pas dans notre pensée de soutenir que les doctrines malthusiennes ou, pour parler plus simplement, le désir de proportionner le nombre des enfants aux ressources actuelles et à venir, n'ont aucune influence sur la natalité d'une population; mais ce que nous croyons, c'est que cette influence qui échappe à toute mensuration, qui n'a pas et ne peut avoir de coefficient déterminé, n'explique rien pour la population française. Pour qu'elle devînt une explication plausible, il faudrait dire par quels motifs spéciaux elle agit chez nous avec son maximum d'intensité, tandis que chez nos voisins son action est faible ou nulle.

Au lieu de nous perdre dans cette recherche sans base, examinons plutôt s'il n'existe pas de raisons plus simples et plus appréciables de notre infécondité relative.

Depuis la fin du dernier siècle, notre pays a été à quatre reprises agité de mouvements politiques qui ont profondément remué les éléments sociaux.

Le premier empire, militaire et despotique; la Restauration, nobiliaire et cléricale; le gouvernement de 1830, protectionniste et bourgeois; le second empire, libre échangiste et démocratique, ont constitué une chaîne formée de maillons bien inégaux et bien disparates. Le brusque passage de l'un à l'autre ne s'est pas fait

sans retentir douloureusement sur une partie plus ou moins considérable de la population, et si on ajoute qu'un malaise durable et profond a précédé la chute de tous les gouvernements tombés, on appréciera l'influence fâcheuse que ces assauts redoublés ont dû exercer sur la vigueur du corps social.

La société survit à ces transformations pleines de souffrances, mais ce n'est pas sans en garder la trace longtemps persistante. Intérêts compromis, positions ruinées, misère et richesse subitement déplacées, trouble profond dans les faits, dans les principes, dans les croyances ; incertitude de l'avenir, inquiétude dans le présent, voilà bien de quoi compromettre l'assiette normale et la marche régulière de la population.

A côté de cette influence importante par ses fréquentes répétitions, il convient d'en placer une autre non moins perturbatrice. C'est la cherté croissante de tous les objets nécessaires à la vie. Ah ! sans doute si cette cherté avait marché avec lenteur, si elle était le résultat d'une modification économique générale, si, en un mot, elle indiquait seulement une diminution de la valeur relative de l'argent, il n'y aurait pas lieu de s'en préoccuper ; mais, loin de là, liée à une foule de circonstances que ce n'est pas le lieu de rappeler, elle a marché par bonds, surtout depuis vingt ans, provoquant des crises industrielles, commerciales ou financières et compromettant en fin de compte l'équilibre social.

Ces troubles politiques et économiques ont déterminé des mouvements de population, qui se sont fortement accusés dans les vingt dernières années. L'émigration à l'extérieur, et surtout l'émigration des campagnes vers les villes ou mieux vers les centres d'industrie et de commerce, ont été la cause principale de la diminution de population dans une trentaine de départements. Bien que ce soit là un simple déplacement indifférent en apparence, la natalité doit en recevoir le contre-coup. Ce sont les adultes et surtout les adultes jeunes qui émigrent. Du même coup ils enlèvent leur personne et leur postérité. On dira que cette postérité les suit et qu'il importe peu que les enfants naissent dans un département ou dans un autre. La réponse serait juste si l'émigrant était certain de trouver de suite dans sa nouvelle résidence une position stable qui lui permît de fonder une famille. Mais pour beaucoup il n'en est rien ; ils vivent au jour le jour et le mariage est retardé, sinon définitivement rendu impossible. Et encore beaucoup

de ces mariages portent en eux des causes manifestes d'infécondité. Conclus dans de mauvaises conditions, un certain nombre d'entre eux sont suivis d'un mutuel abandon, ou seulement de l'abandon de la femme par le mari. Ces faits et beaucoup d'autres, qu'il serait trop long d'énumérer ici, expliquent pourquoi la fécondité des mariages est plus faible à Paris que dans tout le reste de la France, tandis que la natalité générale (naissances légitimes et illégitimes réunies) est plus forte que partout ailleurs, et pourquoi nos départements qui se font remarquer par leur fécondité sont en général ceux où, pour un motif quelconque, la population est attachée au sol où elle trouve à vivre plus ou moins facilement, tandis que les départements inféconds sont ceux qui avoisinent les grands centres commerciaux ou même qui contiennent ces centres, c'est-à-dire ceux où la population rurale se déplace.

Bien qu'on ait cherché d'autres interprétations pour ces faits, et qu'on ait voulu, comme M. Legoyt, y voir la preuve de l'influence négative de la richesse sur la fécondité, il semble difficile de se refuser à admettre que ce déclassement de population agit sur sa fécondité.

D'ailleurs, il s'en faut que tout se borne à un simple déplacement ; il y a eu depuis quinze ans une véritable destruction de population virile. C'est par centaines de mille hommes de vingt à trente ans qu'il faut chiffrer les pertes de toutes nos expéditions prochaines ou lointaines ; de ce chef seul nous avons presque cent mille naissances de moins par an. Car ce sont de futurs maris et de futurs pères, jeunes, choisis, vigoureux, que la guerre consomme ainsi par le fer et par les maladies.

Mais ce n'est pas seulement par ses pertes directes que l'armée trouble le mouvement des naissances. Le recrutement joue un rôle plus complexe et a une influence plus profonde.

L'âge moyen du mariage tend graduellement à s'élever depuis le commencement du siècle. De vingt-sept ans il est passé à trente et un an. Cet âge a un chiffre un peu plus fort dans les villes, et surtout à Paris, que dans les campagnes. Là encore on a voulu voir l'heureuse influence que le bien-être exerce sur la prévoyance des individus, et si, a-t-on dit, la fécondité est moindre dans les campagnes que dans les villes, c'est certainement parce que le paysan, devenu propriétaire, a pris cet esprit d'ordre et d'économie qui

anime les sociétés prospères. C'est vraiment faire contre mauvaise fortune bon cœur.

Si les campagnes sont moins fécondes que les villes, quoiqu'on s'y marie plus jeune, c'est que la population rurale fournit la grande majeure partie du contingent, et que de ce contingent, qui actuellement représente le quart des jeunes hommes de vingt à trente ans, une infime partie retourne seule dans les campagnes. Si l'âge moyen du mariage a toujours augmenté depuis soixante ans, il n'en faut pas chercher d'autre raison que le constant accroissement de nos contingents, qui de 40,000 hommes sont montés jusqu'à 140,000 hommes, et semblent devoir être fixés à 110,000 hommes.

En Angleterre, où la conscription n'existe pas, l'âge moyen du mariage est de vingt-cinq ans pour l'homme, aussi la majorité des Anglais est-elle mariée à vingt-sept ans, tandis qu'en France une forte majorité ne l'est pas encore. Dix ans plus tard tout s'équilibre, et le nombre proportionnel des mariages est le même dans les deux pays. On sait quelle marche différente la natalité suit de chaque côté du détroit. Il suffit de mettre ces faits en regard pour les rendre probants, et faut-il rappeler encore que notre natalité semble décroître avec l'élévation du contingent. Les chiffres suivants sont éloquents.

Années.	Nombre d'habitants pour une naissance.	Nombre de soldats pour 100,000 habitants.
1821	32,47	701
1831	33,88	931
1851	37,47	996
1861	37,54	1213

La plupart des pays où l'armée permanente exige seulement un court service (presque tous les États de l'Allemagne sont dans ce cas, et ils y étaient bien mieux encore avant 1866) sont en même temps des pays à forte natalité. Il en est de même si, l'armée gardant longtemps ses soldats, le contingent est relativement peu considérable. Mais chez nous, où la conscription enlève à ses foyers le quart de la population de vingt à trente ans, et maintient ce quart pendant six ans sous les drapeaux, chez nous où, dans ces conditions, l'âge moyen du mariage est presque de trente-deux ans, comment croire, comment peut-on soutenir que l'armée est totalement étrangère au ralentissement de la natalité? Qu'ad-

viendra-t-il quand le contingent sera de 110,000 hommes, et que le mariage ne sera plus permis, dans des conditions menaçantes, qu'après six années de service et vingt-sept ans d'âge. L'avenir répondra. Plaise à Dieu que cette réponse ne soit pas trop cruelle!

A côté de cette population de jeunes hommes condamnés par la loi au célibat temporaire, il convient de signaler d'autres éléments stériles, les uns par volonté, les autres par nécessité : les prêtres, les religieux, les petits employés, la majeure partie des domestiques. Quoique ces diverses catégories d'individus représentent un chiffre important, il est nécessaire de remarquer qu'ils sont répartis sur toute la série des âges, de vingt ans à la vieillesse, et par conséquent que leur influence sur la fécondité générale est proportionnellement moins puissante que celle de l'armée qui prend l'homme dans un âge de choix.

Sur ces derniers faits il n'y a, pour ainsi dire, qu'un cri parmi les auteurs qui ont étudié la question. Personne, hormis le ministre de la guerre parlant au Corps législatif de la nouvelle loi militaire, personne n'élève le plus léger doute sur le déchet des naissances causé par la conscription. A la tribune ou dans la presse, dans les livres ou dans les Académies, le langage est à peu près le même, et même aussi la conclusion.

Oui, certes, la puissance d'une nation se mesure au nombre d'hommes qu'elle peut mettre sous les armes. Cela est vrai, très-vrai, si on entend par là l'effort violent et exceptionnel que peut aire un peuple riche et prospère, ayant accumulé depuis longtemps des réserves de toute espèce, des économies d'hommes, de capitaux et d'industrie. Mais il ne serait pas moins vrai de dire, avec Montesquieu, avec Voltaire, avec l'histoire, la science et la logique : la ruine d'une nation se calcule sur le nombre d'hommes qu'elle entretient sous les armes.

Ces deux doctrines sont en présence, et tout fait présumer qu'elles vont se trouver aux prises. Souhaitons que l'expérience soit courte, car l'avenir de la France est en jeu.

V

En présence de cette situation reconnue dans ses effets et dans ses causes prochaines, qu'y a-t-il à faire ?

Faut-il, avec quelques optimistes exagérés, se payer de mots et déclarer que tout est pour le mieux dans notre pays? Tous nos efforts ont eu pour but de prouver que cette doctrine est inacceptable ; il est inutile d'y revenir.

Faut-il courber la tête devant le fait comme devant un obstacle invincible, tout en reconnaissant les graves inconvénients qui en résultent? Quelques bons esprits inclinent, à tort suivant nous, dans ce sens. Ils disent que le mouvement de la natalité échappe à toute action gouvernementale ou sociale, que ni lois, ni règlements n'ont prise sur cette matière délicate, et qu'il n'y a en conséquence rien à faire de ce côté, tous nos soins devant être consacrés à faire baisser la mortalité.

Sans doute, la dernière partie de leur conclusion est bonne et juste. Diminuer la mortalité de tous les âges par les progrès de l'hygiène, de la philanthropie, de l'assistance ; diminuer la mortalité de la première enfance qui est de 18 pour 100 par toute la France, qui atteint 25 et 30 pour 100 dans quelques départements, et qui, pour les enfants illégitimes et assistés, touche les chiffres énormes de 60 à 80 pour 100; entreprendre une sainte croisade contre cette immense hécatombe de nos espérances prématurément ruinées, est une visée à la fois utile et nécessaire. Mais ici les difficultés sont grandes, et pour qui veut regarder au fond du problème, les plus redoutables questions d'organisation sociale apparaissent bientôt. Car le but, le véritable but à atteindre, c'est que chaque enfant ait une mère qui lui donne son lait, son temps et ses soins; c'est que toute mère ait la vie assurée pendant tout le temps qu'elle consacre à son enfant; c'est, en somme, que la maternité et ses délicates occupations s'accomplissent toujours à l'abri du travail de l'homme suffisant pour deux. En sommes-nous là, et y marchons-nous? Réponse douteuse pour le moins.

Et vraiment quand on y songe avec attention, il n'est guère plus facile de faire reculer la mortalité que d'activer la natalité. Tout se tient et tout s'enchaîne dans les faits *démologiques*, et telle circonstance qui supprimera des morts, provoquera du même coup des naissances. Tous les décès dus à la guerre, à l'armée, à la conscription sont dans ce cas.

D'ailleurs si les causes que nous avons signalées sont réelles, pourquoi serait-il plus aisé de résoudre les problèmes sociaux qui

tiennent la mortalité sous leur dépendance, que les problèmes politiques et économiques qui régissent la natalité?

S'il nous était donné de voir un jour notre pays constitué de telle sorte que les révolutions devinssent impossibles, parce qu'elles seraient inutiles ; de manière que toutes les activités individuelles et collectives pussent se manifester efficacement en échappant à une subordination fâcheuse qui résulte d'une centralisation excessive ; de manière que toute la population fût consacrée au travail producteur et fécondant, que l'épargne, au lieu de se gaspiller démesurément à tous les vents du globe, devînt le limon fertilisant qui amènerait chaque année de nouveaux fruits et de nouvelles épargnes ; s'il nous était donné, en un mot, de faire cette grande découverte que, pour recueillir la moisson de son champ, le plus sûr moyen c'est de le cultiver sans relâche, au lieu de regarder ce qui se passe chez le voisin, ce jour-là, nul doute que la population ne reprît la marche progressive que tant de circonstances ont alangui depuis longues années.

Nul doute n'existe pour nous à cet égard. En somme, et d'une manière concrète, ce qui tend surtout à restreindre la puissance de notre natalité, c'est que les affinités particulières des individus sont troublées ou empêchées par l'influence prédominante de la société ou de l'État. Au lieu de l'organisation naturelle qui résulterait de l'action spontanée des molécules sociales, c'est-à-dire des individus, les unes sur les autres, nous avons créé et perfectionné sans cesse une organisation artificielle et systématique qui opprime l'unité sous la collectivité.

Quoique les masses ne voient rien de possible en dehors de cette conception prétentieuse, les hommes d'étude et de réflexion constatent chaque jour davantage que l'individu déprimé et nivelé est en toute branche un producteur de moins en moins fécond, et que la société, n'étant rien par elle-même, ne vaut que par ses éléments.

De là cette conclusion unique et générale, cette conclusion vraie en matière de population, en politique, en économie sociale, en tout et partout : le salut de l'avenir, c'est l'émancipation de l'individu, lui permettant l'entier épanouissement de ses facultés dans la liberté.

U. Trélat.

AGRICULTURE

I

L'AGRICULTURE A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867

Toute exposition agricole comprend trois ordres d'objets : les animaux, les machines, les produits, dont les conditions d'exposition sont très-différentes ; tandis que les produits agricoles peuvent être classés dans l'édifice qui abrite les objets manufacturiers de toute espèce, les machines occupent un si grand espace qu'elles doivent prendre place dans des hangars spéciaux ; les animaux enfin exigent des soins multiples qu'ils ne peuvent recevoir que dans des locaux appropriés. Mais ces conditions particulières étant admises, était-il nécessaire de reléguer les machines et les animaux dans l'île de Billancourt pendant qu'on laissait les produits au Champ de Mars? Nous ne le pensons pas. Il était d'autant plus à craindre, en prenant un parti aussi radical, de voir le public négliger l'examen des machines et des animaux, qu'on avait été loin de prendre toutes les mesures convenables pour assurer des communications faciles et rapides entre les deux expositions.

Cette division est d'autant plus fâcheuse qu'elle a été moins complète, que quelques exposants agricoles privilégiés ont pu laisser leurs machines ou leurs animaux dans le palais ou dans le parc, tandis que d'autres moins heureux ont été obligés de reculer jusqu'à Billancourt ; les chevaux russes, quelques spécimens du bétail de l'Allier, quelques volailles, les machines américaines sont restés dans les hangars du parc, tandis que la plupart des autres animaux et des machines en ont été exclus ; enfin on ne saurait nier que les produits agricoles n'aient été complétement sacrifiés.

L'arrangement systématique qui a été la grosse préoccupation des commissaires a fait ici complétement défaut. La place réservée aux

matières alimentaires entre la grande galerie des machines et le promenoir extérieur a été souvent envahie par les restaurateurs, et les produits agricoles, les spécimens d'engrais, ont dû refluer vers la galerie des machines où ils ont été confondus avec des objets de toute autre nature ; en France même ils ont été exclus du palais et sont venus se réfugier dans un grand hangar placé à l'angle sud-ouest du parc. Les autres nations leur ont conservé en général leur place régulière, aussi ces expositions étaient-elles bien plus faciles à visiter que notre exposition française.

Il faut donc reconnaître que l'agriculture a été très-maltraitée à cette dernière Exposition et qu'elle n'y a pas occupé la place brillante que lui avait maintenue à Londres, en 1862, la vigilance attentive de M. Porlier, et que nous lui avons vu tenir à Porto, en 1865 ; la faute en a été certainement à une mauvaise organisation de ce service. Une exposition agricole ne peut avoir d'intérêt que lorsqu'elle est collective, et même, dans ces conditions, elle aurait besoin, pour être instructive, d'être centralisée par une commission spéciale. J'accorde que les spécimens des produits agricoles n'ont rien de brillant, qu'une machine inerte n'attire guère l'attention du visiteur... aussi des notices explicatives détaillées nous paraissent-elles indispensables. A notre avis, une exposition agricole ne deviendrait réellement intéressante qu'à la condition d'être appuyée par de nombreux documents statistique ; ceux-ci manquaient absolument dans notre exposition française, ils manquaient également pour presque tous les autres pays ; en Angleterre cependant, nous avons vu quelques essais encore timides dans le sens que nous indiquons : de grands tableaux montraient la consommation de différentes nations en sucre, tabac, café, et ces renseignements indiquaient déjà nettement combien les habitants de la Grande-Bretagne sont plus riches, plus aisés que ceux des autres contrées européennes ; mais à ces tableaux de consommation, nous avons préféré sans hésiter ceux qu'avait établis la Hongrie ; dans le compartiment réservé à cette nation, l'agriculture occupait, en effet, une place importante.

Quand, après avoir passé en revue les objets exposés, examiné les échantillons, goûté même, si on veut, les vins des différents crus, on trouve écrit en grosses lettres sur le mur : la Hongrie produit annuellement 74,000,000 kilogrammes de tabac, 13,500,000 hectolitres de vin, 40,000,000 kilogrammes de

chanvre, etc., on a une idée plus nette de l'état agricole du pays, que si on voit simplement des sacs de froment, de houblon, des flacons d'huile ou de vin. Ce sont ces renseignements qu'il faudrait demander pour chaque nation, qui s'efforcerait de les donner le plus complétement possible, qui trouverait sans doute des moyens élégants de montrer les progrès qu'elle accomplit dans une voie ou dans une autre. Quand il s'est agi d'indiquer sa production d'or, l'Australie, répétant au Champ de Mars ce qu'elle nous avait déjà montré à Londres en 1862, a construit une pyramide en carton doré figurant par son volume la masse de l'or extraite depuis la découverte de ce précieux métal. Les mineurs d'Allemagne ont profité de l'enseignement, chacun a regardé avec curiosité ces gros cubes de laiton figurant la valeur en or des produits extraits des mines pendant un certain nombre de périodes décennales; en comparant le petit cube du sommet à la masse du bas, on comprenait à quel point cet art avait progressé depuis un demi-siècle; les divisions tracées sur chacun de ces blocs montraient encore pour quelle fraction entrait dans le total l'extraction de la houille, du fer, du plomb, du cuivre, etc. Cette méthode ne pourrait-elle pas être imitée? Ne serait-il pas instructif de savoir quelle est la production agricole de la France et par quel cube d'or elle se représente? Ne serait-il pas curieux de savoir comment celui-ci se divise, à quelle fraction correspond la production des céréales, du vin, de l'alcool, du sucre, de la laine, de la viande, de la soie ? Ne pourrait-on enfin comparer les régions les unes aux autres ? Ne serait-ce pas là un puissant moyen d'exciter l'émulation des populations, et quand nos gens du Midi, qui ont la vigne et la soie, verraient que ceux du Nord, qui en sont privés, arrivent cependant à tirer de leur betterave un surcroît de la richesse et que le rendement de l'hectare est plus élevé dans le pays où manque la culture de la vigne, la culture nationale de la France, n'auraient-ils pas sous les yeux une preuve parlante de l'infériorité de leurs procédés agricoles.

Si les expositions internationales ne sont qu'un prétexte à flânerie, à revues et à bals officiels, elles ne valent pas la peine d'être maintenues; mais chacun proteste contre une semblable opinion et affirme que ce sont des concours sérieux destinés à instruire ceux qui les fréquentent. Efforçons-nous donc alors de les rendre essentiellement instructifs en écrivant les résultats obtenus, non

pas lisiblement, c'est trop peu, mais en caractères éclatants qui attirent et fixent l'attention.

Il faut le reconnaître, l'Exposition de 1867 a été absolument manquée au point de vue agricole; les hommes compétents qui avaient fait leurs preuves dans les expositions précédentes en ont été écartés au grand détriment de l'entreprise elle-même, l'épreuve est faite; nous le constatons, non pour obéir au désir qui ne nous est nullement habituel de critiquer, mais pour qu'à l'avenir on fasse autrement et, par suite, forcément mieux.

I

LE SOL ET LES ENGRAIS.

Pour qu'un végétal puisse se développer régulièrement, il faut qu'il rencontre dans le sol où il enfonce ses racines les éléments minéraux qui doivent faire partie intégrante de la plante elle-même.

Quelques exposants ont cru devoir présenter divers échantillons de terres arables (Académie royale et agricole de Poppelsdorf, École impériale d'agriculture de Grignon, établissement des frères de Beauvais), et quelques-unes de ces terres portent des étiquettes qui indiquent leur composition. Bien que les procédés d'analyse se soient singulièrement améliorés à mesure que la science agricole se constituait sur des bases plus solides; bien qu'on recherche aujourd'hui les principes azotés, et particulièrement les nitrates et les sels ammoniacaux, par des méthodes délicates et précises, et que, malgré les grandes difficultés qu'on rencontre dans le dosage de l'acide phosphorique et de la potasse, on arrive cependant à déterminer la quantité de ces corps qui peut exister dans le sol, on ne saurait attribuer à ces analyses l'importance capitale qu'on leur donnait autrefois. En effet, nous avons montré déjà[1] que l'analyse ne décèle pas entre des terres de fertilités différentes des différences de composition correspondantes; qu'une terre noire de Russie, par exemple, qui donne indéfiniment des récoltes de froment sans engrais, ne renferme dans 1 kilogramme qu'une quantité de principes utiles double

[1] *Annuaire scientifique*, 1862, p. 264.

ou triple de celle qui existe dans 1 kilogramme de terre de la Brie ; de telle sorte que la profondeur de la terre paraît avoir souvent sur la fertilité une influence capitale et qu'il serait aussi intéressant d'exposer un échantillon de terre en donnant sa profondeur qu'en indiquant sa composition ; un des préceptes inscrits dans le compartiment réservé à la chimie dans le pavillon de Grignon affirme « que deux terres inégalement fertiles diffèrent moins par leur composition que par leur épaisseur. »

Phosphates. — Si quelques esprits peu attentifs nient encore l'influence du développement des sciences sur les progrès de l'agriculture, ils trouveront un démenti brutal dans la consommation considérable de phosphates fossiles qui a été faite depuis quelques années. Il n'est pas inutile de revenir sur la marche qu'a suivie cet engrais qui donne aujourd'hui naissance à des transactions d'une très-grande importance. Dès le commencement du siècle, le grand observateur Th. de Saussure avait reconnu l'importance physiologique des phosphates. « Le phosphate de chaux du système osseux d'un animal, disait-il, ne constitue peut-être pas la cinq-centième partie de son poids ; personne ne doute cependant que ce sel ne soit essentiel à la constitution de ses os. J'ai trouvé ce même sel dans les cendres de tous les végétaux où je l'ai recherché, et nous n'avons aucune raison pour affirmer qu'ils puissent exister sans lui. »

L'emploi du noir animal, puis celui des os concassés vinrent bientôt montrer l'importance des engrais phosphatés ; leur prix s'élevait sans cesse, quand on rencontra en Angleterre, puis en France, des quantités notables de nodules riches en phosphate. En 1855, quelques-uns de ces nodules étaient déjà exposés par un géologue du département du Nord, M. Delanoue, et, cette même année, notre regretté maître et ami Baudement signalait l'importance de cette découverte [1]. Bientôt un industriel français, M. de Molon, se donnait la mission de découvrir les principaux gisements de cet engrais et de populariser son emploi. Une grande carte exposée par le ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, construite d'après les recherches de M. de Molon, montre les gisements actuellement connus ; les plus abondants se rencontrent autour du massif jurassique du Boulonnais,

[1] Tresca, *Une visite à l'Exposition universelle.*

dans le Pas-de-Calais, puis dans nos départements de l'Est, en suivant un arc de cercle dont le centre serait vers Paris et s'étendrait de Rethel à Auxerre, sur une longueur de 100 kilomètres et sur une largeur de 10 kilomètres environ. Les gisements exploités d'abord sont en général de simples affleurements, et, d'après la notice émanée du ministère, « on peut considérer comme établi que, dans plusieurs de nos départements, le phosphate de chaux constitue des gisements étendus et réguliers, d'une richesse moyenne assez grande et d'une extraction facile. » Dans les analyses que j'ai faites autrefois de ces nodules, j'étais arrivé à constater que leur richesse moyenne est d'environ 42 pour 100 de phosphate[1], et je pense qu'aujourd'hui on n'est pas arrivé à un nombre bien différent; on a trouvé quelques nodules d'une richesse exceptionnelle qui atteint 65 pour 100 de phosphate de chaux, comme j'en avais trouvé moi-même d'une richesse de 62 pour 100, mais je la considère encore comme exceptionnelle. On n'en est plus aujourd'hui aux conjectures sur l'importance de ces phosphates fossiles; l'enquête faite il y a quelques années sur les engrais industriels a montré que la culture sait les utiliser sur une grande échelle, et quand on parcourt la collection des engrais exposés par les divers négociants qui traitent ces matières, on reconnaît que les phosphates fossiles y occupent la première place. En France, on est à peu près d'accord que les nodules, simplement réduits en poudre, employés sur les défrichements, y produisent des effets remarquables. Nous avions, dès 1857, indiqué que, sous l'influence de l'air, ces nodules acquiéraient une grande solubilité dans les acides faibles, vraisemblablement par suite de la suroxydation du phosphate de fer qui y était contenu, et la pratique agricole est venue confirmer complétement ces inductions tirées des expériences de laboratoire. En Angleterre, cependant, on continue à faire usage de quantités notables de superphosphate, c'est-à-dire de nodules pulvérisés et traités par l'acide sulfurique, et, en France, on s'efforce en ce moment de préparer des phosphates plus attaquables en métamorphosant le phosphate de chaux en phosphure de fer, qu'on peut ensuite amener à l'état de phosphate soluble. Ce phosphure de fer apparaît sous forme de

[1] *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*. (Thèse pour le doctorat, 1859.)

masses fibreuses, noires, ayant quelque ressemblance extérieure avec le sulfure d'antimoine. Nous ignorons si le procédé préconisé par M. Boblique pour opérer ces transformations produira des effets avantageux ; *a priori*, il nous paraît nécessiter des dépenses trop élevées quand on considère le but qu'il faut atteindre.

Sels de potasse. — L'abondance avec laquelle les alcalis se rencontrent dans quelques plantes est telle, que depuis un temps immémorial on les extrait de leurs cendres. On sait que les anciens chimistes désignaient la potasse sous le nom d'alcali végétal, par opposition à la soude, extraite des plantes aquatiques et souvent appelée alcali marin ; aujourd'hui encore, on extrait la potasse des cendres, et notamment des mélasses de betteraves, et on livre ainsi à l'industrie une certaine quantité de la potasse d'abord enfouie dans le sol arable. Or, d'après quelques expériences dues à M. G. Ville, le froment ne saurait atteindre son développement normal dans un sol absolument privé de sel de potasse ; enfin, d'après l'*opinion* émise en Allemagne par M. J. de Liebig, la potasse aurait pour la végétation une telle importance, que ce serait à sa disparition du sol cultivé qu'il faudrait attribuer l'apparition de quelques-unes des maladies qui ravagent aujourd'hui nos cultures. Nous avons du reste insisté ici même sur l'importance qu'on attribue de l'autre côté du Rhin aux engrais de potasse, et nous n'y reviendrons pas [1]. Si ces opinions sont fondées, il y aurait intérêt à rendre au sol une partie de la potasse qui lui est habituellement enlevée par la culture. Il faut reconnaître cependant que l'importance de cet engrais ne sera jamais aussi considérable que celle des phosphates, car la potasse est bien plus uniformément répandue dans le sol que les phosphates. Il est peu de terres absolument dépourvues d'argile qui, provenant elle-même de la désagrégation de roches riches en potasse, n'en renferment toujours des quantités notables, peu à peu dissoutes ; elles peuvent subvenir à la dépense des plantes sans nécessiter un apport nouveau d'alcalis.

L'expérience seule indiquera les cas dans lesquels ces alcalis seront utilement employés ; mais, quelque nombreux qu'ils soient, l'agriculture trouvera toujours à des prix modérés toutes les quantités d'alcalis dont elle aura besoin. Une découverte

[1] *Annuaire de* 1866. — *Les gisements de potasse de Stassfurt,*

importante a été faite, en effet, dans ces dernières années; nous avons vu qu'on a découvert en Allemagne, aux environs de Stassfurt et dans le petit duché d'Anhalt, un gisement de sel gemme renfermant la partie supérieure des sels riches en potasse.

On a pu voir dans l'exposition prussienne les sels extraits du gisement de Stassfurt et de ceux d'Anhalt, chez plusieurs exposants, et notamment chez MM. Vorster et Gruneberg, qui ont eu l'heureuse idée de placer dans des bocaux de grandes dimensions les sels, dans l'ordre où la sonde les rencontre.

Elle trouve d'abord la Kainit, sel blanc jaunâtre, déliquescent et qui correspond à la formule $KOSO^3,MgOSO^3,MgCl,6HO$; au-dessous existe un banc de carnalite formée de chlorure de potassium et de magnésium ($KCl2MgCl\ 6HO$), puis la sylvin, ou chlorure de potassium. Au-dessous existe un mélange de sylvin et de kiserite, puis une couche de kiserite pur (sulfate de magnésie), puis une dernière de polyhalite $2(CaOSO^3)\ KO\ SO^3\ MgO\ SO^3 2HO$, séparé du sel gemme, qui apparaît en beaux cristaux cubiques transparents.

Le gisement de Stassfurt présente à peu près les même sels, mais on y rencontre, au-dessous de la carnalite, la boracite $2(3MgO\ 4BoO^3)MgCl$, et la trachydrite ($CaCl\ 2MgCl\ 6HO$).

On a extrait de ces sels du sulfate de potasse pur, du chlorure de potassium pur, également livrés à l'industrie des produits chimiques, tandis que les résidus formés d'un mélange de sulfate de potasse, de sulfate de magnésie, de sulfate de chaux, de sel marin et de chlorure de magnésium, connus sous le nom d'engrais de potasse ou d'engrais de potasse concentrés, sont vendus à l'agriculture au prix assez modéré de 8 fr. 50 les 100 kilos pris à Cologne, ou à des prix plus élevés quand leur richesse en potasse est plus grande.

L'exposition agricole du ministère des travaux publics de France montre encore des feldspaths à différents états d'altération renfermant une certaine quantité de potasse, et qui pourraient sans doute être utilisés dans les lieux voisins de leur gisement, sans pouvoir toutefois, à cause de leur pauvreté en principes utiles, supporter des frais de transport considérables.

Engrais animaux. — L'important problème de l'emploi agricole des matières fécales ne paraît pas avoir fait encore un pas décisif. Le procédé imaginé par MM. Geoffroy et Chateau pour

précipiter l'ammoniaque et l'acide phosphorique des eaux vannes au moyen de phosphate de chaux et de magnésie acide, qui avait donné d'abord des espérances, n'a pas paru à l'Exposition, et les essais de désinfection à l'aide de la chaux, préconisés par différents industriels, ne donnent pas non plus des résultats complétement satisfaisants ; enfin les essais de fabrication d'une sorte de fumier par l'addition dans les tinettes de détritus végétaux de toutes sortes, ne semblent pas pouvoir pénétrer dans la pratique d'une façon définitive. L'emploi des eaux vannes analogues à l'engrais flamand, transportées par des trains spéciaux ou poussés par de puissants engins dans un système de tuyaux divergeants de Paris vers les lieux de consommation, seraient sans doute le moyen le plus commode d'employer ces immenses richesses encore aujourd'hui si négligées.

Les matières animales semblent pénétrer dans la consommation agricole plus facilement que l'engrais humain. Le guano reste toujours celui des engrais azotés qui est le plus recherché, et l'Exposition en offre de nombreux échantillons. Un produit plus nouveau est celui qu'offre un industriel doué d'une rare activité, M. Rohart, sous le nom de guano de poisson.

Il y a déjà une douzaine d'années, M. de Molon, dont nous avons raconté plus haut les louables efforts pour faire pénétrer dans les usages agricoles les phosphates fossiles, avait eu l'idée d'utiliser pour l'agriculture les résidus des pêcheries de Terre-Neuve : au moment, en effet, où les marins apprêtent les morues destinées à être salées, ils abandonnent sur le rivage ou rejettent à la mer des quantités notables de résidus riches en azote et en acide phosphorique. M. de Molon avait établi à Terre-Neuve une usine destinée à préparer avec ces résidus un engrais pulvérulent facile à répandre ; des complications financières vinrent arrêter l'essor de cette industrie naissante, qui semble aujourd'hui renaître sous les efforts de M. Rohart. C'est en Norwége, aux îles Loffoden, que cet industriel a établi son usine, dont il avait donné dans la galerie des machines une figure d'assez grandes dimensions. Les débris des poissons, d'abord séchés à l'air, sont ensuite soumis à l'action de la vapeur sous une pression de sept ou huit atmosphères ; les débris séchés, puis réduits en poudre au moyen d'un moulin, sont enfin amenés en France et livrés à la culture au prix de 25 francs les 100 kilos, prix inférieur à celui du guano

du Pérou. M. Rohart attribue à son engrais une richesse moyenne de 9 pour 100 d'azote et 30 pour 100 de phosphate. Au moment où s'ouvrit l'enquête sur les engrais, M. Rohart affirmait avoir déjà livré de nombreuses commandes et être obligé d'étendre son établissement pour satisfaire aux demandes qui lui étaient adressées.

II

INFLUENCE DES ENGRAIS.

Expérience de Hellriegel. — La science agricole, comme toutes celles qui touchent aux procédés des arts usuels, s'est d'abord composée d'un certain nombre de recettes empyriques. Les agronomes latins savaient aussi bien que nous que le fumier de ferme est favorable au développement des plantes, mais ils ignoraient son mode d'action. Pour préciser l'influence des différents éléments qu'il renferme et qui se rencontrent également dans les matières employées comme engrais, M. Boussingault a imaginé, il y a déjà plusieurs années, un procédé ingénieux, qui consiste à faire vivre les plantes dans des sols stériles, amendés seulement avec quelques-uns des éléments des engrais ; en semant des haricots, du froment, de l'avoine dans des sols de sable calciné, puis en additionnant successivement ces sols de matières azotées, de phosphates, de sels de potasse, on peut reconnaître aisément l'influence relative de chacune de ces matières sur la fertilité. Ce procédé a été imité en Allemagne, et dans l'exposition agricole très-intéressante de la Prusse, on pouvait voir une série de tableaux sur lesquels sont fixés les pieds d'orge développés dans des sols stériles amendés avec diverses matières. Ces tableaux sont enrichis d'analyses des plantes développées ; le tout est présenté par le docteur Hermann Hellriegel, de l'Institut agricole de la province de Brandebourg, à Dahme. Les premiers tableaux sont destinés à éclairer quelques questions de physiologie végétale importantes ; M. Hellriegel a d'abord voulu reconnaître l'influence de la grosseur du grain semé sur le développement de la plante, et l'expérience lui a montré que la « perfection de la jeune plante est directement proportionnelle à la grosseur du grain dont elle provient. » Mais tandis que les différences sont encore très-sensibles à la maturité quand la culture a eu lieu dans une terre pauvre,

elle s'atténue, au contraire, de plus en plus dans les terres riches. Le poids spécifique des grains a une influence analogue ; un grain d'un plus grand poids spécifique produit toujours une plante plus parfaite qu'un autre moins lourd, mais quand les plantes végètent dans des sols très-riches, les différences s'évanouissent peu à peu.

La lumière a, comme chacun sait, une influence capitale sur le développement des végétaux, même des végétaux aquatiques, et nous avons montré nous-même, il y a quelques années, que lorsque les plantes aquatiques sont plongées dans une obscurité complète, elles absorbent peu à peu tout l'oxygène contenu en dissolution dans l'eau, puis bientôt périssent asphyxiées[1]. D'après les expériences de M. le docteur Hellriegel, le développement de l'orge n'est parfait qu'autant que la plante est exposée à une vive lumière ; quand celle-ci s'affaiblit, la plante produit moins de grains et la tige devient trop faible pour rester droite, la rigidité de la tige diminue, et il faut la soutenir pour l'empêcher de s'affaiblir.

Cette influence de la lumière sur la rigidité des tiges des céréales a déjà été signalée plusieurs fois ; c'est ainsi que M. Tisserand a rapporté dans le récit de son voyage agronomique en Danemark, que dans ce pays, où la végétation a lieu pendant un temps assez court et sous l'influence d'une lumière assez prolongée, puisque les nuits de l'été du Nord sont très-courtes, les céréales ne versent pas ; enfin, plus récemment, MM. Bella et Velter ont montré que les tiges des céréales prenaient une rigidité plus grande quand les plantes étaient éclaircies et qu'on laissait un plus libre accès à la lumière. Les résultats des expériences intéressantes entreprises sur ce sujet étaient exposés au pavillon de Grignon.

M. le docteur Hellriegel continue sa série d'expériences sur l'orge par l'examen de l'influence des engrais azotés ; il reconnaît ainsi que l'orge n'arrive à son complet développement, que si elle trouve des nitrates dans le sol, les composés azotés qui existent dans l'atmosphère et que la pluie peut entraîner sur le sol sont insuffisants pour fournir à la plante de quoi parcourir son cycle de végétation. Une autre expérience indique les quantités d'acide nitrique nécessaires à la plante. M. Hellriegel conclut

[1] *Bulletin de la Société chimique*, 1864.

que 324 grammes d'acide azotique suffisent à un sol pesant 1 tonne, mais qu'il ne faut pas élever la dose d'acide azotique à 400 grammes sous peine de nuire à la plante. Un point remarquable qui ressort encore de ces expériences est que l'ammoniaque ne peut être considérée comme une substance alimentaire de l'orge.

47 grammes de potasse suffisent pour amender 1 tonne du sol destiné à produire l'orge; une quantité plus considérable était sans effet, mais une dose de potasse, même six fois plus grande, 282 grammes pour 1 tonne, n'avait aucune action nuisible. Quand même un sol ne renferme que des traces de magnésie, la paille atteint toute sa hauteur, mais les grains sont moins parfaits. Quand on ajoute au sol pesant 1 tonne 70 grammes d'acide phosphorique, on en met une quantité suffisante pour obtenir le maximum de rendement en paille et en grain, mais l'orge reste chétive quand la proportion descend à 36 parties, et si on diminue la quantité d'acide phosphorique jusqu'à 9 grammes, l'orge ne peut plus se développer.

Les autres aliments minéraux ne semblent pas avoir une importance aussi considérable. Ainsi, l'acide sulfurique et le chlore sont utiles, puisqu'à mesure qu'on diminue la proportion de ces principes on diminue aussi la récolte, mais la quantité que la plante exige est très-peu considérable.

Expériences de M. Thiel.—Nous ne pouvons abandonner l'examen de l'exposition agricole allemande sans signaler les curieux morceaux de marbre présentés par l'Académie royale agricole à Poffelsdorf, près Boun, dont le représentant est le docteur Thiel. On voit très-nettement sur ce marbre l'empreinte de fines radicelles : « On a eu pour but, dit le catalogue officiel de la Prusse, d'obtenir sur une plaque de marbre la reproduction par une espèce de décalque, de la touffe de radicelles provenant de la graine. A cet effet, se basant sur l'acidité de ces radicelles, on a semé dans une caisse à fond de marbre diverses graines. Le marbre rongé partout où il a été en contact avec les radicelles, donne une image fidèle de ces ramifications. Les essais ont porté sur le froment, le seigle, l'orge, l'avoine, le maïs, les pois, les haricots verts et rouges, le colza et les citrouilles. Le même effet doit se produire sur des plaques de plâtre, l'image en question se produit alors en relief, les interstices constitu[illegible] e fond, sont grenus et rouges. »

On ne trouve dans le catalogue prussien aucune interprétation de ces faits curieux, qui soulèvent encore la question si souvent discutée des excrétions végétales ; il semble d'après l'expression précédente, « l'acidité des racines » qu'on suppose que ces racines dégagent de l'acide carbonique capable de dissoudre le marbre ; mais ne serait-il pas plus simple de croire que l'acide carbonique contenu dans l'eau qui circule dans la terre arable est partiellement dégagé au moment où l'absorption a lieu par la racine. On conçoit facilement que l'acide carbonique dégagé à l'extrémité de la radicule, non pas par celle-ci, mais par l'eau qui pénètre dans la plante, puisse dissoudre le carbonate de chaux successivement dans tous les points qu'occupe l'extrémité de la radicelle pendant son développement? Cette interprétation devrait, au reste, être soumise à une série d'expériences vérificatives.

Étude des racines. — La physique végétale, bien que moins heureusement représentée à l'*Exposition autrichienne*, y a encore une part importante. Le développement des céréales y a été étudié avec soin, on y remarque des tiges de blé prises à différentes époques et pourvues de leurs racines ; on ne saurait voir sans étonnement quelles énormes dimensions acquièrent ces racines; le fait, cependant, n'est pas absolument nouveau pour nous, et nous avons semé, il y a quelques années, dans des cylindres de terre cuite semblables à ceux qu'on emploie dans la construction des cheminées, réunis bout à bout, des plantes de diverses espèces et nous avons reconnu que les racines s'y enfoncent jusqu'à des profondeurs dépassant 1 mètre ; on voit au pavillon de l'École de Grignon plusieurs racines exposées par les soins de M. Velter et Durand, répétiteurs, et elles atteignent des dimensions aussi considérables que celles que nous révèlent les spécimens de l'exposition autrichienne.

On y voit encore que le développement de la racine précède en quelque sorte celui de la tige, et que lorsqu'une graine a germé, qu'elle a fait ses premières feuilles, elle emploie tout d'abord les sucs qu'elle élabore à la formation d'une longue racine destinée à aller puiser de tous côtés les aliments nécessaires au développement ultérieur de la tige ; il semblerait que l'activité de la plante se porte successivement vers ces deux organes: d'abord la racine, ensuite la tige.

Composition immédiate des végétaux. — La composition immédiate des végétaux paraît avoir préoccupé vivement les chimistes agricoles, qui ont montré, dans plusieurs expositions, les différents principes immédiats séparés les uns des autres ; on trouve dans l'exposition autrichienne, à côté d'une très-belle anatomie du maïs et d'une collection très-complète des variétés de cette espèce, des tubes renfermant la proportion d'eau, d'amidon, de cellulose, de matières grasses, de cendres, qu'on trouve dans un poids déterminé de maïs ; cette méthode, excellente pour l'enseignement, a été suivie également à l'École de Grignon et appliquée à un assez grand nombre de végétaux. On la trouve encore en usage à l'Académie royale de Poffelsdorf, qui expose une collection renfermant les matières organiques (amidon, sucre, substances albuminoïdes, pectine, huile, cellulose), et les matières minérales (hydrate de potasse, sel marin, magnésie, chaux, oxyde de fer, acide phosphorique) qu'on peut tirer de 1 kilogramme de froment, d'avoine, de pois, de colza, de pommes de terre et de betteraves. Dans l'exposition anglaise, ce mode de représentation a été non-seulement appliqué aux plantes telles que les carottes, les lentilles, les pommes de terre, les pois, les haricots, mais encore à un certain nombre des principes alimentaires, le vin, la bière, le poisson, la viande, le lait, le café même, aux substances purement excitantes comme le tabac.

On ne saurait trop recommander ces moyens d'enseignement et dans des cours destinés à un public peu lettré, on frappera les esprits bien plus vivement en montrant des tubes renfermant des quantités variables de ces principes immédiats qu'en se contentant d'écrire les nombres sur un tableau.

Il est non-seulement important de fixer la composition immédiate des plantes, mais il serait important d'arriver à accroître leur rendement en principes immédiats, quand ils sont cultivés dans le but d'obtenir un de ces principes immédiats.

On trouve dans le hangar destiné à l'exposition collective de nos départements, une série de betteraves conservées dans l'alcool ; elles sont de dimensions très-différentes; dans toutes on a dosé le sucre. M. Violette qui a fait les analyses est arrivé à un résultat fort curieux, déjà indiqué, mais avec moins de netteté; d'après lui, la richesse des betteraves en sucre serait d'autant plus grande que ces betteraves sont plus petites ; en revanche, les betteraves

seraient d'autant plus aqueuses qu'elles seraient plus grosses. Nous avons relevé le tableau suivant :

Poids des betteraves.	Eau dans 100 de betteraves.	Sucre dans 100 de betteraves.
—	—	—
2k.200	84	9.05
1. 100	84	10.70
0. 900	82	9.88
0. 650	79	16.82
0. 280	80	14.50
0. 056	78.5	16.00

Il y aurait donc grand avantage à serrer les betteraves dans les cultures de façon à les empêcher de prendre un grand développement.

Dans les recherches que l'aide bienveillante de S. Exc. M. le ministre des travaux publics nous a permis d'exécuter à l'École de Grignon, pendant les deux dernières campagnes, sur l'emploi agricole des sels de potasse, nous nous sommes non-seulement préoccupés de l'influence des engrais alcalins sur la quantité de la récolte, mais aussi de la composition des plantes obtenues.

Les résultats de ces essais étaient exposés au pavillon de Grignon ; à droite et à gauche de l'espace qui nous était réservé, nous avions placé des échantillons des terres sur lesquelles avaient porté nos expériences. Chaque flacon portait une étiquette sur laquelle était détaillée l'analyse de ces terres. — Sur de grands tableaux était tracée une série d'ordonnées où nous comptions le prix de la récolte et le prix de l'engrais; la différence de hauteur indiquait le gain obtenu dans la culture, et il était aisé de comparer ce gain à celui qu'on avait obtenu quand on n'avait pas employé d'engrais alcalin, et on en pouvait déduire l'avantage ou l'inconvénient que présentaient ces engrais.

Les expériences de 1865-1866 étaient disposées dans trois terrains différents. Chaque parcelle avait une surface de 4 ares ; on a fait une seule série d'expériences sur le blé, et deux sur les betteraves et les pommes de terre. Les engrais employés furent pris chez MM. Vorster et Gruneberg, de Cologne, et à l'usine de MM. Merle et Cᵉ, à Alais.

Le sulfate de potasse et de magnésie fournis par ceux-ci donna sur le blé un bénéfice de 40 francs par hectare, c'est-à-dire que la récolte obtenue laisse après payement de l'engrais une plus-value de

40 francs, en la comparant au produit du carré qui n'avait pas reçu d'engrais. L'engrais de potasse, produit très-complexe de MM. Vorster et Gruneberg, et renfermant, outre du sulfate de potasse et du chlorure de potassium, du sel marin, du sulfate de magnésie et du sulfate de chaux et même des matières argileuses, donna un bénéfice de 159 francs par hectare dans la culture du blé ; mais le sulfate de potasse concentré de MM. Vorster et Gruneberg occasionna une perte de 13 francs par hectare. Dans les deux cultures de betteraves, les engrais de potasse occasionnèrent une perte sérieuse ; leur effet est sensible quand ils sont associés au phospho-guano, car la récolte se montant à 42,700 kilogrammes à l'hectare sur le carré sans engrais de potasse atteignit 48,400 kilogrammes dans le cas où l'on fit usage d'engrais de potasse. Mais, dans ces circonstances, les plus avantageuses que la culture ait présentées, la plus-value de la récolte fut loin de compenser la dépense de l'engrais ; employés seuls sur les betteraves, les engrais de potasse ne produisirent aucun effet. L'engrais Merle eut même pour résultat de diminuer la récolte dans les deux séries d'expériences, et on ne saurait manquer d'être frappé qu'un mélange de phospho-guano et d'engrais de potasse renfermant toutes les matières jugées utiles au développement des végétaux n'ait eu aucun résultat avantageux. Ce même sulfate de potasse et de magnésie employé concurremment avec le phospho-guano donna un bénéfice de 160 francs par hectare dans la culture des pommes de terre. La récolte avait été considérablement augmentée, elle avait passé de 160 hectolitres à 240. Quand on emploie avec le phospho-guano l'engrais de potasse, on obtient 283 hectolitres, et le bénéfice fut encore de 120 francs par hectare ; on fut constitué en perte par l'emploi du sulfate de potasse concentrée dans les deux séries d'essais, et par l'engrais de MM. Merle, et par l'engrais de potasse dans la seconde série où les sels alcalins furent employés seuls.

Toutes les récoltes obtenues ont été analysées[1], mais on n'a pu constater, comme l'avaient trouvé les chimistes allemands, que l'emploi des sels de potasse ait eu la moindre influence sur la composition des plantes ; ainsi les betteraves récoltées sous l'influence des sels de potasse associés au phospho-guano ont donné pour

[1] Voyez *Comptes rendus*, 1867, t. LIIV, p 863 et 971, et *Bulletin de la Société chimique* t. VIII, p 8.

chacun des trois carrés amendés avec les sels alcalins et le phospho-guano : 10,1 , 9,1 , 10,0 de sucre pour 100, tandis que lorsqu'on a fait usage du phospho-guano seulement, on a trouvé 11,0 de sucre pour 100 ; dans la seconde série d'essais, les carrés qui ont reçu de la potasse ont fourni des betteraves renfermant en sucre sur 100 parties: 10,6; 11,1 ; 10,8; et le carré sans engrais 10,8.

Les pommes de terre analysées n'ont pas non plus montré une plus grande richesse en fécule quand le sol qui les portait a reçu des engrais de potasse. — Enfin, il a été impossible de constater que l'emploi des sels de potasse ait eu une influence quelconque sur la proportion de pommes de terre atteintes de la maladie. On a trouvé, en effet, que dans les lots qui ont reçu les engrais de potasse, la proportion des pommes de terre atteintes de la maladie a été de 2,6 pour 100 ; tandis qu'elle a été de 2,1 pour 100 dans ceux qui n'ont pas reçu de potasse,

On voit donc que les engrais alcalins n'ont pas donné sur les *terres de Grignon* tous les résultats qu'on croyait en pouvoir tirer, surtout en considération des faibles quantités de potasse qu'on a trouvées dans l'un des sols étudiés [1].

Dans le compartiment du pavillon de Grignon qui nous avait été réservé, on voyait encore le résultat de nos recherches sur le plâtrage des terres arables. Nous avons indiqué déjà [2] que le plâtre favorise la solubilité de la potasse contenue dans le sol arable, et les recherches ultérieures que nous avons publiées sur ce sujet sont venues confirmer notre manière de voir ; il restait toutefois dans la première notice que nous avons rédigée sur ce sujet plusieurs points obscurs élucidés aujourd'hui.

Nous avons déjà insisté plusieurs fois dans ce recueil sur les propriétés absorbantes de la terre arable, étudiées par MM. Huxtable, Thompson et Way, en Angleterre ; par M. Brustlein, en France ; or, l'expérience nous montra bientôt que la nature de l'acide à laquelle une base est unie influe singulièrement sur l'énergie avec laquelle elle est absorbée ; les sulfates de potasse ou d'ammoniaque sont absorbés bien moins complétement que les carbonates, l'expérience le démontre nettement.

[1] 0g.016 de potasse soluble par kilogramme.
[2] *Annuaire scientifique*, 1864, p. 405.

Ce fait étant admis, remarquons que les plantes qu'il est utile de plâtrer sont les légumineuses qui restent souvent pendant un temps assez long sur le sol et qui y enfoncent leurs racines profondément. Or, les engrais ont quelque peine a pénétrer à ces profondeurs. En effet, le dernier terme de la décomposition des roches feldspathiques est le carbonate de potasse qui sera retenu par la terre arable et aura quelque peine à s'enfoncer profondément. Puisque les matières argileuses ont le pouvoir d'enlever ce sel à une dissolution, on conçoit qu'elles s'opposent à sa diffusion dans le sol et que le carbonate de potasse produit à la surface par l'action incessante des agents atmosphériques n'aura que peu ou pas d'influence sur une plante dont les racines fouissent à plus de 1 mètre ; pour que cette plante puisse profiter de cet engrais alcalin, il convient donc qu'il soit amené à un état où il pourra facilement se diffuser dans le sol et pénétrer jusqu'à une profondeur considérable ; or, c'est là ce qu'on réalise au moyen du plâtre puisqu'on métamorphose ainsi le carbonate de potasse en sulfate. — Une dernière difficulté nous a cependant arrêté encore quelque temps ; quand on analyse comparativement les cendres d'une plante amendée avec du plâtre, et celles d'une plante qui a végété dans une terre où l'on n'a pas ajouté ce sulfate, on trouve bien que les cendres de la plante plâtrée sont plus riches en potasse et en chaux, mais on n'y trouve pas plus d'acide sulfurique. Or, si nous admettons que le sulfate de chaux est utile parce qu'il métamorphose le carbonate de potasse en sulfate et lui permet ainsi de gagner les couches profondes du sol, nous devrions, semble-t-il, trouver dans les cendres de la plante une quantité d'acide sulfurique correspondante à celle de la potasse qui a été assimilée et cependant, nous le répétons, la quantité d'acide sulfurique est beaucoup plus faible que celle qui est nécessaire pour former avec la potasse et la chaux des sulfates.

Pour expliquer cette anomalie apparente, il suffit de laisser séjourner pendant quelque temps du sulfate de chaux dans une terre légèrement humide et riche en matières organiques, on ne tarde pas à y reconnaître que l'acide sulfurique disparaît peu à peu ; tout le monde sait, en effet, que les sulfates sont facilement réduits par les matières organiques amenés à l'état de sulfures, puis transformés enfin en carbonates. Si donc le plâtre a eu pour effet d'amener la potasse dans les parties profondes du sol en la

transformant en sulfate, il ne lui a donné ainsi qu'une forme en quelque sorte transitoire, bientôt le sulfate de potasse est réduit, amené à l'état de carbonate, et c'est surtout sous cette forme qu'il pénètre dans la plante.

P.-P. Dehérain.

II

BIBLIOGRAPHIE

LES APPLICATIONS DE LA ZOOTECHNIE

PAR M ANDRÉ SANSON [1].

Après avoir donné au public ses *Principes généraux de la zootechnie*, M. Sanson a publié récemment deux volumes sur les applications de cette science. L'un est consacré à l'étude du cheval, de l'âne et du mulet ; le second aux autres espèces domestiques, bœuf, mouton, chèvre, porc. — Bien que M. Sanson paraisse très-hostile aux idées répandues par Lamarck et Darwin sur l'origine des espèces, il ne serait pas éloigné de diminuer le nombre de celles qu'on admet habituellement dans le genre Equus où il ne reconnaîtrait volontiers que trois espèces, la première comprendrait le cheval, la seconde l'âne et l'hémione, la troisième le dawn, le zèbre et le coagga. On voit au reste que dans ces volumes M. Sanson veut éviter les discussions de principe qui l'éloigneraient de son sujet ; il décrit avec exactitude les principales races de chevaux, et les figure d'après les photographies ou des dessins exécutés d'après nature ; ce qui donne d'abord à son ouvrage un caractère de précision remarquable. M. A. Sanson critique avec raison les institutions hippiques qui nous régissent aujourd'hui ; il n'hésite pas à reconnaître que l'État pourrait laisser à l'initiative privée le soin de doter les courses dont le budget est déjà si élevé. Dans le second volume l'auteur décrit les principales races d'animaux domestiques ; les pages consacrées à l'étude des bœufs sont parti-

[1] 2 vol. Librairie agricole.

culièrement intéressantes. M. Sanson adopte les idées de mon regretté maître Émile Baudement, sur la spécialisation, mais il n'oublie pas cependant que la fin dernière du bœuf est d'être animal de boucherie, et qu'il n'est pas économique d'exiger de lui tout le travail qu'il peut donner. M. Sanson étudie dans ce volume une question souvent agitée, la *stérilisation des vaches ;* il se prononce pour l'affirmative, mais peut-être aurait-on pu demander de plus grands développements sur une opération qui n'est encore que rarement mise en pratique. Quoiqu'il en soit, cet ouvrage est un des plus importants qui aient paru depuis plusieurs années sur l'élevage des animaux domestiques.

P.-P. D.

GÉOGRAPHIE

LE CHEMIN DE FER DU PACIFIQUE

PAR L. SIMONIN.

Du jour où les Américains ont conquis la Californie et l'ont si brillamment colonisée, ils ont songé à joindre par le chemin le plus court et le plus facile le jeune État du Pacifique aux anciens États de l'Union. De la *Ville Impériale*, comme les *Yankees* se plaisent à nommer leur grande métropole New-York, se détache un faisceau de railways qui presque tous prennent la direction du Mississipi et du Missouri, portant jusqu'aux confins des derniers États qu'arrosent ces deux cours d'eau la vie et le mouvement. Le problème à résoudre était donc dès l'abord celui-ci : détacher d'un point quelconque du Missouri où arrive un des railways partant de New-York une nouvelle voie ferrée marchant vers le Pacifique, et allant à la rencontre d'une voie opposée partie de San-Francisco et se dirigeant vers le Missouri. Un problème posé est chez les Américains à moitié résolu. En 1859, on ne comptait pas moins de sept projets qui avaient été étudiés sous la surveillance du département de la guerre à Washington, et qui tous avaient pour but le tracé de la grande ligne transcontinentale entre le Mississipi ou l'un de ses affluents et l'Océan Pacifique. La distance moyenne à franchir était de 2,000 milles américains [1] ou 800 lieues de 4 kilomètres : c'est la distance qui sépare Lisbonne de Saint-Pétersbourg. Le coût total de l'établissement de la voie, d'après les devis, variait entre 600 et 850 millions de francs. Ces sommes n'avaient rien d'exagéré, et il fallait même toute la promptitude, l'économie et la simplicité que les Américains apportent dans leurs grands travaux pour ne pas atteindre un total beaucoup plus élevé.

[1] Le mille terrestre américain est égal en nombre rond à 1610 mètres.

Le parcours était en effet non-seulement très-étendu, mais parfois très-difficile, et si des terres arables existaient sur le tiers ou le quart du chemin, sur d'autres points le bois et l'eau manquaient complétement ; enfin le pays était partout à peu près désert, visité seulement par les Indiens et les bisons : c'étaient ces fameuses *prairies* que Cooper a immortalisées.

L'énergie des pionniers et des explorateurs américains avait préludé de bonne heure aux avant-projets d'une voie ferrée. Parmi les explorateurs s'était distingué au premier rang le général Fremont, alors simple capitaine du corps des ingénieurs. En 1842-44, parti avec une faible escorte des bords du Missouri, il s'était courageusement avancé à travers des territoires déserts, avait reconnu les divers cols ou passages des Montagnes-Rocheuses et de la Sierra-Nevada; puis était descendu en Californie. Plus tard, revenu dans ces pays qui l'attiraient sans cesse, il avait pris part à la conquête de la province mexicaine par les Américains. C'était aussi à ce moment (janvier 1848) qu'un pauvre ouvrier mormon, Marshall, découvrait par hasard la première pépite, comme si le précieux métal n'eût dû être révélé dans cette contrée qu'à ceux-là seulement qui pourraient la coloniser. Une partie des émigrants que la découverte de l'or amena tout aussitôt en Californie vint par terre en suivant la *route de Fremont*. Le trajet était des plus périlleux et durait de quatre à six mois. Aussi plus d'un convoi laissa ses os le long du chemin, jalonnant d'une façon sinistre la voie à parcourir. Souvent des maladies contagieuses décimaient la caravane en marche, quelquefois l'herbe manquait pour le bétail, ou bien les froids précoces, les tourmentes et les neiges surprenaient dans les montagnes les courageux marcheurs et les ensevelissaient à jamais dans ces Alpes privées de refuges. La famine elle-même étendait parfois ses ravages au milieu du convoi, qui courait aussi le péril de succomber aux sauvages attaques des Indiens. La fièvre de l'or faisait braver ces dangers, que les Mormons avaient les premiers courageusement affrontés par attachement à leur foi. On connaît le grand exode de ces étranges sectaires accompli entre les derniers États de l'Ouest qui les rejetaient de leur sein et le Lac-Salé de l'Utah.

La route si péniblement ouverte par les savants et les pionniers fut bientôt améliorée par les colons, et le jeune État de Californie lança successivement à travers le lointain *far-west*, dépouillé dé-

sormais de tous ses mystères, plusieurs services réguliers de diligences. Ces services, sous le nom d'*overland mails* ou malles transcontinentales, reliaient le Sacramento au Missouri et au Mississipi, et en trois semaines portaient les voyageurs et les dépêches de San-Francisco à Saint-Joseph ou à Saint-Louis. La ligne suivie par Fremont et les émigrants était celle que parcourait le coche ou *stage*. Aucun ingénieur, aucun corps des ponts et chaussées, n'avaient nivelé la voie, ni décrété le sens du parcours. La nature, qui n'avait jeté que très-peu d'obstacles matériels sur le chemin, et l'esprit pratique des Américains avaient seuls tout fait et tout prévu.

Aux services des *overland mails*, ouverts dès 1857, vint bientôt s'en joindre un autre encore plus miraculeux, celui du *poney*, installé en 1860. Celui-ci franchissait en six jours, au moyen d'un cheval rapide ou *poney*, la distance de 1,600 milles ou 650 lieues qui existait alors entre l'extrême limite télégraphique des États de l'Est et celle des États de l'Ouest. Cheval et cavalier se renouvelaient à chaque station, et la bête partait au galop, arrêtée quelquefois en chemin par le peau-rouge qui guettait le coureur pour le tuer et voler le cheval. Ce service fit néanmoins merveille, et ce fut par ce moyen que le 12 novembre 1860 furent apportées à San-Francisco les dépêches d'Europe du 21 octobre, c'est-à-dire datant à peine de vingt jours, et la nouvelle de l'élection présidentielle du 6 novembre, qui donnait la majorité au candidat abolitioniste Lincoln.

Tels étaient les différents services, plutôt privés que publics, qui avaient préludé à l'établissement d'une ligne télégraphique et ferrée continue entre le Pacifique et l'Atlantique. Inutile de dire que la ligne télégraphique fut bientôt achevée, et que les perfectionnements apportés au service de la malle de terre allèrent toujours croissant. Jamais aux temps anciens de l'histoire les couriers des Césars ou des princes mogols et jamais de nos jours ceux des empereurs de Russie n'avaient parcouru si rapidement d'aussi longues distances ; mais les Américains n'étaient pas hommes à s'arrêter en si bonne voie, et nous avons vu que, dès 1859, le gouvernement de Washington avait fait étudier sept projets de chemins de fer pour unir les deux Océans. D'où venait le retard dans la mise à exécution de l'un de ces projets, de celui qui était réputé le meilleur ? De la rivalité et de l'opposition jalouse des États du sud, qui, voyant

la Californie hostile à l'esclavage, essayaient d'arrêter l'essor de ce nouvel État, et ne voulaient pas que la grande voie ferrée se dirigeât vers l'Atlantique par d'autres territoires que les leurs. Ce n'est pas seulement, en le voit, dans les pays centralisés, c'est encore dans les pays libres et de régime républicain que l'adoption des meilleures mesures peut être entravée par la résistance d'une majorité aveugle. Bientôt la guerre de sécession éclata entre le Nord et le Sud, guerre depuis longtemps prévue et dont la cause principale fut précisément cette question de l'esclavage qui divisait si profondément la grande république américaine. La rupture momentanée de l'ancien pacte d'union fut au moins bonne à quelque chose. En 1862, le président Lincoln, de la même plume qui abolit à tout jamais l'esclavage sur le sol fédéral, signa le décret qui arrêtait irrévocablement le tracé du chemin de fer du Pacifique, et qui désignait comme point de départ la ville d'Omaha sur le Missouri.

Omaha, tête de ligne de la voie ferrée dont nous allons maintenant parler, est situé vers le confluent du Missouri et de la Rivière-Plate[1], dans l'État de Nebraska, limité au nord par le Dakotah, au sud par le Kansas. D'Omaha, le chemin de fer remonte la Rivière-Plate et côtoie la limite septentrionale du territoire de Colorado, inconnu hier, aujourd'hui partout cité pour la richesse de ses mines d'argent, d'or et de cuivre ; puis le railway franchit les Montagnes-Rocheuses au col Bridger, sans tunnel, et descend dans l'Utah, où il passe par la ville du Lac-Salé, la capitale des Mormons polygames. De là, il entre dans l'État de Nevada, dont les célèbres mines, découvertes il y a sept ans à peine, produisent aujourd'hui autant en argent que la Californie produit en or, c'est-à-dire deux cents millions de francs par année. De Virginia-City, ville principale de l'État déjà peuplée de 15,000 habitants, le chemin de fer se dirige vers la Sierra-Nevada, qu'il franchit par des rampes successives, puis par un tunnel de 500 mètres, et de là, saluant la Californie, il descend vers Sacramento, la capitale du pays de l'or, et vers San-Francisco, la jeune reine du Pacifique. Les rampes de la Nevada et un tunnel dont la longueur totale n'atteint

[1] Les Américains écrivent Platte, mais il nous a paru convenable de conserver à ce nom évidemment français, et provenant comme tant d'autres des anciens trappeurs canadiens, sa véritable orthographe.

pas un demi-kilomètre, telles sont donc les seules difficultés à vaincre sur un si long parcours[1]. En beaucoup d'endroits, le terrain a été si bien nivelé par la nature, qu'on ne voit pas de quel côté il penche, et que les rails se posent sans aucune fouille sur le sol. Pas de grandes rivières à franchir, pas de torrents impétueux à dompter. Le seul ennemi de la voie, nous l'avons fait connaître, c'est, sur quelques points heureusement isolés, le désert, où manquent l'eau et le bois, où domine le peau-rouge vagabond e chasseur, adversaire-né du colon stable; mais le bois et l'eau, on les apporte, et quant à l'enfant des prairies, il disparaîtra et s'éteindra bientôt devant l'homme civilisé. C'est là une des lois fatales du progrès, et elle se vérifie partout.

Le grand chemin de fer du Pacifique avance des deux côtés à la fois. Du côté de la Rivière-Plate, il a déjà atteint le pied des Montagnes-Rocheuses, à 525 milles d'Omaha; du côté du Sacramento, le pic et le fleuret du mineur font en ce moment éclater le rempart de granit de la sierra, à 150 milles du Pacifique. Dans ces prairies, grâce au nivellement naturel du sol, on pose jusqu'à une demi-lieue et même une lieue de rails par jour, 4 kilomètres. On a même dépassé quelquefois ce chiffre. Ici, près des anciens États de l'Union, ce sont des terrassiers irlandais qui font presque tous les travaux de la voie. Ils marchent avec elle, toujours vers l'ouest, emmenant à chaque étape leur maison de bois roulante. Là, du côté des jeunes États du Pacifique, ce sont des Chinois venus de Californie, où ils avaient d'abord émigré, et qui ont quitté les placers au fur et à mesure de l'épuisement des sables aurifères. Le Chinois se montre ici ce qu'il est partout, travailleur patient, industrieux, jouant un rôle des plus humbles, mais des plus utiles. C'est John le Célestial (ainsi les appellent les Américains) qui a ouvert le chemin de fer de Panama au milieu de marais d'où se dégageaient des fièvres mortelles. C'est encore lui qui exploite au Pérou le guano des îles Chinchas, à l'odeur méphitique, lui qui, sous le ciel de feu des tropiques, cultive le coton et la canne à sucre dans nombre de colonies. Dans les États du Pacifique, c'est lui enfin qui prête aux Américains le secours si avan-

[1] En comptant 2,000 milles pour le parcours total du chemin de fer du Pacifique, et 1,000 milles de New-York au Missouri, cela fait 3,000 milles ou à peu près 5,000 kil. de railway qui seront franchis en cinq ou six jours.

tageux de ses bras pour le lavage des alluvions aurifères ou le tracé de la grande route inter-océanique. Il marche à l'est, et d'étape en étape la troupe s'avance. Un beau jour, le terrassier chinois, ce paria de l'extrême Orient, rencontrera l'Irlandais, ce déshérité de l'Occident, et de ce rapprochement singulier il y aura plus d'un enseignement à tirer. Qu'ils restent sur ce sol fertile, ces deux exilés que la misère et la faim ont chassés de leur foyer primitif, qu'ils colonisent ces terres vierges, qu'ils y fondent la famille du pionnier, et la fortune, la considération, viendront avec le bien-être et la richesse. Citoyens d'un pays libre, ils trouveront au moins sur ce point l'indépendance et l'espace qui leur ont manqué au pays natal.

Le coût total du chemin de fer du Pacifique est estimé à 750 millions de francs. Le tiers de cette somme, 250 millions, a été garanti par le gouvernement fédéral, et cela en dehors des concessions de terres qu'il a faites à la compagnie dans les divers États ou territoires que traverse la voie. Les particuliers ont fourni le reste, 500 millions, et les Mormons ont, dit-on, tenu à honneur de souscrire à eux seuls pour un cinquième de la somme, soit 100 millions de francs.

Le 23 octobre 1866 a eu lieu l'inauguration solennelle des 400 premiers kilomètres de ligne ferrée livrés à partir d'Omaha. Le terme réglementaire accordé pour l'ouverture de ce tronçon avait été devancé de dix-huit mois, et le parcours, qui d'après les conventions aurait pu n'être que de 100 lieues, avait été augmenté d'un quart, c'est-à-dire qu'il atteignait près de 500 kilomètres, tant l'activité avait été grande sur les chantiers. La fête fut grandiose. Le convoi d'honneur emporta vers les prairies plusieurs membres du congrès, des fonctionnaires, des ingénieurs, des écrivains, des artistes, choisis parmi les plus éminents de l'Union. Les dames, qui sont de toutes les parties aux États-Unis, n'eurent garde de manquer à l'appel. Un seul des intéressés fut absent, le général John-A. Dix, président de la compagnie du chemin de fer, qui venait d'être nommé ministre des États-Unis en France. Le convoi comprenait neuf de ces immenses wagons américains si confortables, si bien distribués. Il était traîné par deux magnifiques locomotives, du type de celle qui a remporté la grande médaille d'honneur à l'Exposition universelle de 1867. L'un des wagons avait été construit en 1865 pour transporter le corps de

Lincoln en Illinois, où est le tombeau du président martyr et où fut son berceau. Le gouvernement avait cédé cette relique à la compagnie du chemin de fer, à la condition que ce wagon serait le premier qui traverserait tout le continent américain du Missouri au Sacramento.

Raconterons-nous ces fêtes d'inauguration? Tout se passa avec ce mélange de grandeur à la fois austère et juvénile dont les Américains du Nord ont le secret. Les Indiens soumis de ces contrées, les Paunies, simulèrent devant les invités une guerre de tribu à tribu, et une portion des prairies fut incendiée au retour pour donner aux *excursionnistes* une idée des désastres que le feu sème quelquefois spontanément au milieu du désert ou de la forêt. Enfin, le premier numéro d'un journal, le *Railway-Pionneer*, fut composé et tiré pendant le cours de cette curieuse promenade, au moyen d'une petite imprimerie installée sur l'un des wagons.

Le 24 octobre, à huit heures du soir, le train arrivait à destination, au fort Mac-Pherson, à 280 milles d'Omaha. Le lendemain matin, après avoir parcouru 16 kilomètres créés depuis le moment où l'on avait quitté les quais de New-York, les voyageurs assistaient à la pose des rails. On plaçait devant eux une longueur de 250 mètres de voie en quelques heures. La construction du chemin de fer marchait alors avec la vitesse de près de 3 kilomètres par jour.

Il ne faudrait pas croire que depuis cette époque la pelle ou le pic des terrassiers se soient reposés un seul jour. Nous arrivons nous-même des prairies (décembre 1867), et nous pouvons certifier que les travaux du grand chemin de fer ne se sont pas un instant ralentis. Une section de 150 milles est ouverte sur le versant du Pacifique, un tiers presque aussi longue que celle qui part d'Omaha. Il en résulte que, sur les 1,800 milles qui séparent les deux stations extrêmes du chemin de fer du Pacifique, plus d'un tiers est déjà livré, et ce tiers, ne l'oublions pas, embrasse une longueur égale à celle de la France entre le Havre et Marseille. Dans trois ans, en 1870, le railway transcontinental sera entièrement achevé. Alors une ligne ferrée continue reliera New-York à San-Francisco, l'Atlantique au Pacifique; alors aura retenti, d'un rivage à l'autre des deux océans, le *go ahead* américain; des territoires qui ne sont encore pour la plupart que des déserts seront devenus, grâce à la voie ferrée, des États peuplés et

prospères, semés de villes florissantes. Devant la civilisation auront disparu le bison et le peau-rouge, et les prairies du *far-west* n'existeront plus que dans les romans de Cooper. Nous, nous ne lançons le railway que vers les pays populeux ; les Américains, agissant d'une façon inverse, s'en servent quelquefois pour appeler la population vers leurs immenses territoires. Il y a mieux, le railway interocéanique est la route la plus directe de Paris à Canton, de Londres à Shang-haï. Et c'est au moment où l'extrême Orient s'ouvre à l'Europe qu'un tel phénomène a lieu ! Qui donc cherchait le plus court passage pour franchir l'isthme américain ? L'isthme est franchi par ce ruban de fer ; désormais, grâce à la vapeur, la Chine et le Japon ne sont plus qu'à un mois de l'Europe.

Le chemin de fer du Pacifique va devenir en peu d'années la grande route commerciale du globe, il justifiera une fois de plus cette loi de l'histoire qui veut que la civilisation s'avance toujours à l'ouest. Jamais ce principe ne s'est démenti depuis les premiers âges historiques, et il semble être confirmé aujourd'hui par les merveilleux développements de l'Amérique du Nord, entre le 30e et le 50e parallèle, car il est à remarquer qu'une seconde loi a aussi de tout temps concentré la civilisation dans l'hémisphère boréal, sur un espace à peine compris entre 20 ou 25 degrés de latitude.

Le grand chemin de fer du Pacifique semble donc venu à son heure. Il traverse des régions pour la plupart privilégiées, celles qui, sous ces climats, ont été le plus favorisées de la nature et vers lesquelles se porte de préférence le flot des émigrants. C'est vers ce point que les géographes politiques marquent ce qu'ils nomment si justement le centre de gravité des États-Unis. En traversant ces régions, le chemin garde aussi l'avantage de se tenir entre ces cercles de latitude favorisés dont nous parlions tout à l'heure. Il oscille à peine de quelques degrés, remontant ou s'abaissant de quelques parallèles. On peut en dire autant de la route maritime par laquelle on rejoindra d'Europe la station de New-York. Quant à celle qui reliera la station opposée de San-Francisco à tous les ports du Japon, de la Chine et de l'Inde, elle ira vers chacun de ces ports par la route la plus directe. En un mois, en quarante ou cinquante jours, on fera ainsi près des deux tiers du tour du monde par le plus court chemin.

Sur le railway transcontinental, les produits souterrains, d'abord les métaux, le cuivre, le fer, le plomb, l'or, l'argent, ensuite le soufre, le sel, qu'on rencontre en si grande abondance dans l'Utah, le charbon, qui existe principalement autour des Montagnes-Rocheuses, toutes ces substances minérales formeront avec les voyageurs, qui resteront le meilleur des colis, les principaux éléments du fret de la voie. Les produits du sol végétal viendront les derniers, quand les énergiques *settlers* auront défriché les forêts et fertilisé les prairies. A l'aller se répandront autour de la grande artère de fer les objets manufacturés d'Europe et des États de l'Atlantique; au retour passeront rapidement, pour aller se déverser vers ces dernières contrées, les productions de la Chine, de l'Inde et du Japon, les épices, la soie, les étoffes de prix, le thé, qui peuvent, par suite de leur valeur, supporter de très-longs parcours. Ce déplacement presque instantané, qui se produira dans le mouvement commercial du globe, sera la cause de l'une des évolutions économiques les plus curieuses que les hommes aient jamais vues. Ce n'est pas le percement des isthmes qui va pour nous supprimer les caps et les obstacles, c'est ce chemin de fer du Pacifique, auquel personne ne songeait hors des États-Unis.

L. Simonin.

LE POLE NORD

Expédition de M. G. Lambert.

Si la marine française s'est illustrée par son exploration du pôle austral avec le commandant Dumont d'Urville, elle est loin d'atteindre, dans l'océan Arctique, le renom de la marine anglaise. Quand on examine une carte du pôle boréal, on rencontre à chaque instant le souvenir des marins anglais, et si on veut se rappeler quelques expéditions, ce sont surtout des noms anglais qui reviennent à la mémoire: John et James Ross, Parry, l'infortuné Franklin et bien d'autres; les Américains ont aussi tenu à honneur d'explorer le nord de leur continent, et ils ont fourni à Kane les moyens de s'illustrer; une occasion se présente pour la

France de rivaliser avec les nations anglo-américaines, et de planter son drapeau à côté du leur, dans les régions boréales : M. G. Lambert s'est donné la mission de pénétrer jusqu'au pôle, il fait appel à la nation, il lui demande environ un demi-million pour accomplir son dessein, et nous espérons pour l'honneur du pays, que la somme sera bientôt complète, ce serait une honte pour la France que de ne pas seconder cette audacieuse tentative.

Au lieu d'aborder les régions polaires par la mer de Baffin ou par le Spitzberg et la Nouvelle-Zemble, M. Lambert veut tourner l'Amérique, passer le détroit de Berhing et s'élever directement au nord ; il croit rencontrer plus rapidement de ce côté la mer libre, que Morton a vue il y a plusieurs années.

Nous faisons les vœux les plus ardents pour que M. Lambert réussisse et nous nous adressons au lecteur de cet ouvrage, en le priant de seconder le hardi explorateur ; les sommes les plus modiques sont acceptées, rue Christine, n° 3 ; il importe que le pays montre que bien qu'on ait dit, il est capable de faire lui-même ses affaires, et qu'il ne souffrira pas qu'une grande idée échoue, faute de quelques milliers de francs.

P.-P. Dehérain.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

Les Étoiles filantes du mois de novembre 1866, par M. A. Guillemin. . 1
Les Volcans lunaires, par M. A. Guillemin. 23

NOTICE BIOGRAPHIQUE

Lord Rosse, par M. G. Rayet. 39

PHYSIQUE

La Physique moderne. — Essai sur l'unité des phénomènes naturels, par M. Saigey, par M. Reitop. 41
Changements d'état des corps, par M. G. Rayet. 61

NOTICE BIOGRAPHIQUE

Faraday, par M. P.-P. Dehérain. 84

NOTICES BIBLIOGRAPHIQUES

La Lumière, ses causes et ses effets, par M. E. Becquerel, par M. G. Rayet. 94
On Sound, série de huit lectures faites à la Société royale d'Angleterre, par John Tyndall, par M. G. Rayet. 96

CHIMIE

Le Silicium, à propos des travaux récents de M. Friedel, par M. P.-P. Dehérain. 101
La Synthèse des carbures d'hydrogène, par M. P.-P. Dehérain. . . . 110

NOTICE BIOGRAPHIQUE

Pelouze, par M. P.-P. Dehérain. 120

MÉTÉOROLOGIE

L'Atlas des orages en 1865, par M. Zurcher. 125

BIBLIOGRAPHIE

L'Eau, par Gaston Tissandier, par M. P.-P. Dehérain. 133
Théorie de la formation du globe terrestre, par M. A. Baudrimont, par M. G. Tissandier 135
Histoire de la Terre, par L. Simonin, par M. G. Tissandier. . . . 137

PALÉONTOLOGIE

Les Animaux fossiles de l'Attique, par E. Vignes 139

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

ART DE L'INGÉNIEUR

La Mécanique a l'Exposition universelle. — Production et transmission du travail, par M. Gariel. 160
La Machine a ammoniaque, par M. G. Rayet. 174
Les chemins de fer a l'Exposition universelle, par M. Gariel. 181
Des Freins et des signaux de chemins de fer, par M. Ch. Goschler. . 191
Application de la vapeur a la locomotion sur les routes ordinaires, par M. P. Schwæblé. 200
Les bateaux de vie, par M. E. Margollé. 217

NOTICE BIOGRAPHIQUE

Auguste Perdonnet, par M. Menu de Saint-Mesmin. 225

BIBLIOGRAPHIE

Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer, par M. Gosch'er, par M. Schwæblé. 227

PHYSIQUE APPLIQUÉE

Revue des instruments d'astronomie et de physique a l'Expositon universelle, par M. G. Rayet. 230
Production du froid et de la glace, appareil Edmond Carré, par M. Gariel. 246
Signaux pour les temps de brume, par M. Gariel. 249
La Télégraphie électrique, par M. Gariel. 251
Des instruments météorologiques enregistreurs, par M. Pouriau. . . . 260
Newton et Pascal, et la découverte de l'attraction, par M. A. Guillemin. 290

NOTICES BIBLIOGRAPHIQUES

Helmholtz, optique physiologique, traduite par MM. Émile Javal et N.-Th. Klein, par M. G. Rayet. 301
Les Phénomènes de la physique, par M. A. Guillemin, par M. P.-P. Dehérain. 305
De l'Œil, par le docteur Giraud-Teulon, par M. C.-M. Gariel. 307
Du Mouvement dans les fonctions de la vie, par M. E.-J. Marey, par M. Gariel. 310

CHIMIE APPLIQUÉE

Le Vin, par M. P.-P. Dehérain. . . . . .
Production industrielle de l'oxygène, par M. G. Tissandier. . . . .
L'Aciération et l'absorption des gaz par les métaux, par M. P.-P. Dehérain. . . . . .

MÉDECINE

La Charité a la guerre, par M. le docteur Worms. 334

NOTICES BIOGRAPHIQUES

Velpeau, par M. le docteur U. Trélat. 350
Trousseau, par M. le docteur P. Brouardel. 357

BIBLIOGRAPHIE

Entretien sur l'hygiène, de M. Fonssagrives, par M. P.-P. Dehérain. 360

ÉCONOMIE SOCIALE

Les Habitations économiques, par M. E. Menu de Saint-Mesmin. . . . 361
Du Mouvement de la population en France, par M. le docteur U. Trélat. 383

AGRICULTURE

L'Agriculture a l'Exposition de 1867, par M. P.-P. Dehérain. 407

BIBLIOGRAPHIE

Les Applications de la zootechnie, par M. André Sanson, par M. P.-P. Dehérain. 425

GÉOGRAPHIE

Le Chemin de fer du Pacifique, par M. L. Simonin. 426
Le pole Nord, expédition de M. G. Hambert, par M. P.-P. Dehérain. 435

AUTEURS

CITÉS DANS CET OUVRAGE

Achard, 188.
Agassiz, 158.
Agudio, 184.
Albaret, 206 et suiv.
Alembert (d'), 4, 93.
Alvergnat, 240.
Ampère, 60, 86.
Antonelli, 281.
Arago, 60, 123.
Archimède, 271.
Argant, 267.
Armstrong, 172.
Aveling, 206.
Ayscough (miss Anna), 294

Babinet, 299.
Balard, 118.
Baron, 259.
Barral, 363.
Barrande, 158.
Barret (de), 100.
Barry, 198.
Barth, 355.
Baudement, 410.
Baudens, 340.
Baudrimont, 135.
Beaumont (Élie de), 37 et suiv., 224.
Beckley, 271, 274.
Béclard, 356.
Becquerel, 56, 90, 94.
Beeching, 218.
Beeck, 233.
Beer, 32, 35 et suiv.
Bégin, 355.
Béhic (Armand), 212.
Bella, 417.
Benzenberg, 5 et suiv.
Bérard (P.), 352.
Bergeron, 383.
Bergue (de), 192.
Bergues, 188.
Bernier, 211.
Bernières (de), 217.
Bernouilli, 95.
Berthelot, 107, 121, 311.
Bertillon, 383, 398.
Bertsch, 236.
Bessel, 7.
Beugnot, 182.
Bevan, 7.
Bianchini, 32.
Biot, 6.
Birt, 32, 34.
Blackett, 200 et suiv., 211.
Blenkinsop, 200 et suiv.
Blot, 383.
Boblique, 413.
Boisbaudran (Lecoq de), 71, 76 et suiv.
Bolton, 174.
Bonelli, 256.
Bonpland, 10.
Boyer, 353.
Boyle, 95, 398.
Brandt, 5 et suiv.
Bray, 206.
Bredley, 298.

Bréguet, 278, 282.
Bretonneau, 351.
Brewster (sir David), 294.
Broca, 383.
Brochard, 383.
Brunner, 230.
Brunton, 200, 211.
Buff, 103.
Bulton, 213.
Bunsen, 265.

Cagnard-Latour, 98.
Cahours, 123.
Cailletet, 328.
Callès, 170 et suiv.
Canton, 95.
Capocci, 10.
Carré (Edmond), 216.
Carrett, 170.
Casciorolo (Vincenzo), 95.
Caselli, 256.
Cassini, 95, 298.
Chacornac, 29 et suiv.
Changeur, 279.
Charras, 340.
Chasles, 290.
Chateau, 414.
Chenu, 337.
Chevallier, 120.
Chladni, 5, 99.
Choiseul (duc de), 201.
Claparède, 177.
Clarke, 237.
Clersilier, 243.
Cloquet (J.), 352.
Condorcet, 93.
Copernic, 291.
Couche, 186.
Coulvier-Gravier, 7 et suiv.
Cugnot, 200.
Cuvier, 142.

Dalton, 66, 92, 107.
Daniel, 265.
Dard et Cie, 215.
Darwin, 425.
Davy (sir Humphry), 85, 88.
Delanoue, 410.
Descartes, 291.
Desmaizeaux, 293.
Desmaret, 211.
Despretz, 82.
Dessaignes, 95.
Deville (Ch. Ste-Claire), 19.
Deville (Henri Ste-Claire), 85, 92, 101.
Devrient, 221.
Deyeux, 122.
Dickson, 206.
Digney, 253.
Dollfus (Jean), 372.
Donny, 63.
Dorfel, 6.
Dubois (Paul), 353.
Duboscq, 234.
Dudgeon (Richard), 210.
Dufour, 63 et suiv.
Dufrénoy, 224.
Duhamel, 291.
Dujardin, 255.
Dulong, 46.
Dumas, 123.
Dunant, 344.
Dupin (Ch.), 398.
Duvillard, 398.

Eichens, 243.
Ely, 383.
Encke, 15.
Engerth, 182.
Ericsson, 174, 176.
Erman, 7.
Escher, 273.
Evans (Olivier), 200 et suiv.
Evans (Th.), 345.

Fairlie, 182.
Falconer, 155, 158.
Faraday, 53, 60, 84, 97, 120.
Farcot, 175.
Fahrenheit, 82.
Farey, 7.
Farmer, 198.
Faugère, 298.
Faure, 209.
Favre, 56.
Faye, 3, 298.
Fell, 184.
Fermat, 299.
Fezensac (duc de), 346.
Flachat, 183, 227.
Fleurieu (de), 311.
Flourens, 120.
Follin, 350.
Foucault (Léon), 232, 242.
Foucher, 350.
Fournet, 230.
Fremy, 124, 325.
Fresnel, 60, 94.
Friedel, 101 et suiv.

Fron, 127, 130.
Frot, 176 et suiv.

Galilée, 297.
Gaudin, 57.
Gaudry, 139 et suiv.
Gauss, 302.
Gauvin, 347.
Gay-Lussac, 46, 68, 71, 120.
Geissler, 240.
Genouilly (amiral Rigault de), 218.
Geoffroy, 414.
Geoffroy-St-Hilaire (Is.), 143.
Gerdy, 353.
Gerhardt, 110.
Gernez, 73 et suiv.
Giffard, 192.
Giraud-Teulon, 307.
Glaisher (James), 13, 288.
Godart, 211.
Gœthe, 95.
Goschler, 227.
Graham, 71, 325.
Grant, 298.
Greathead (Harry), 218.
Gribeauval (général), 201 et suiv.
Grissell, 207.
Grosclaude, 218, 287.
Gruithuysenn, 33.
Gruneberg, 414.
Guérin (J.), 383.
Guéroult, 100.
Guillemin, 306.

Halske, 239, 237.
Herding, 7.
Hardy, 256, 279.
Hardy de Beaulieu (Le) 383.
Harting, 300.
Hasley, 273.
Haüy, 95.
Hawkshaw, 198.
Heis, 3, 7, 16.
Hellriegel, 416.
Helmholtz, 99 et suiv.
Herrick, 8, 10.
Herschell (Alexandre), 3, 7, 16.
Herschell (J.). 29.
Hervé-Mangon, 276, 286.
Higgins, 99.
Hipp, 264, 277, 288.
Hirn, 270.
Hobbes, 292.
Hoffmann, 106.
Holme, 250.
Holtz, 236, 239.
Hooke, 98. 291.
Horn, 369.
Hough, 280.
Howard, 6.
Huggins (William), 27, 35.
Hughes, 254.
Hugon, 161.
Humboldt (de), 10 et suiv.
Husson, 383.
Huxtable, 423.
Huyghens, 294, 332.

Iaxton, 237.

Javel, 301.
Jelineck, 282.
Jobert (de Lamballe), 120, 330.
Joule, 52.

Kaup, 150.
Klein, 301.
Klinger, 280.
Kirchhoff, 46.
Kœmtz, 125.
Konitsky, 221.
Kravogl, 242.
Kreil, 279.
Krusenstern, 2.

Ladd, 239.
Ladenburg, 104, 109.
Lafont, 176.
Lahire, 36.
Lahure, 221.
Lamark, 425.
Lamy, 72.
Landelle (de la), 217.
Landriani, 272.
Langes, 169.
Larmanjat, 206 et suiv.
Larned, 210.
Larrey, 383.
Lartet, 143.
Laubereau, 161, 166.
Laurent, 278, 281.
Lavergne (Léonce de), 383.
Lebon, 167.
Lechatelier, 193.
Lecomte, 100.
Lee, 210.
Lefort, 396, 397.
Lélut, 367.
Lenoir, 167, 174, 256.

Leopolder, 285.
Leslie, 247.
Lichtenberg, 5, 99.
Liebig, 425.
Littrow (de), 18.
Loevel, 72.
Lohrmann, 34.
Lotz, 206.
Louis (Dr), 358.
Lukin (Lionel), 218.

Maclear (sir Thomas), 13.
Mædler, 32, 35.
Magellan, 262.
Malderen (Van), 237.
Malgaigne, 350.
Malthus, 399.
Marchal (de Calvi), 355.
Maréchal, 322.
Marey, 309.
Margraff, 95.
Margueritte, 325, 292.
Marié-Davy, 125.
Mariotte, 46, 292.
Mariotti, 121.
Marshall, 170 et suiv.
Martin (Th.-H.), 300.
Mazzochi, 99.
Meyer et fils, 185.
Mignon, 247.
Miller, 332.
Moigno (l'abbé), 97.
Molon (de), 411.
Moncel (du), 271.
Monot, 383.
Montesquieu, 293, 404.
Montigny, 279.
Morin (général), 201, 208.
Morland (Samuel), 277.
Morse, 252 et suiv.
Morstadt, 280.
Moué, 221.
Moynier, 341.
Muller (Émile), 372.
Muncke, 272.
Muschenbroek, 4, 10.

Nélaton, 335.
Newton (le professeur), 8, 12, 41, 290.
Nobile, 10.
Noble, 98.
Nollet, 237.
Nordmann, 146.
Normand (Augustin), 218.
Northumberland (duc de), 218.

Odling, 330.
Œrstedt, 86.
Ohm, 50.
Olbers, 1, 7, 10.
Olmstedt, 11, 15.
Osler, 270, 285.
Otto, 161, 169.
Owen, 154, 158.

Palasciano, 344.
Palfyn, 356.
Pascal, 290.
Pasteur, 72, 79, 311.
Peake, 218.
Péligot, 325.
Pelouze, 120.
Penot, 373.
Petiet, 183.
Petit, 46.
Perdonnet, 224.
Perry, 223.
Peyrilhe, 342.
Phipson, 13, 17.
Piazzi-Smith, 275.
Piche, 236.
Pictet, 6.
Pidou, 359.
Pierre (Is.), 108.
Pigott, 98.
Pixii, 237.
Plateau, 63.
Poëy, 279.
Porlier, 408.
Porter, 206.
Pound, 298.

Quételet, 7.

Racine (Louis), 293.
Radau, 90, 262, 272, 282.
Ramon, 358.
Rarchaert, 182.
Rayer, 120.
Raziły (de), 217.
Regnard, 279.
Reich, 91.
Rhumkorff, 236.
Richardson, 222.
Rigaud, 230.
Rive (de la), 99.
Robinson, 200, 271.
Robison, 98.

Rohart, 415.
Ronalds, 267.
Roper, 21.
Rostan, 550.
Roth, 145.
Rouart, 247.
Rosse (lord), 59.
Rutherfurt, 57.

Saigey, 7, 16, 41.
Salleron, 267, 271, 282.
Saint-Évremond, 295.
Sanson, 425.
Saunderson, 325.
Saussure (de), 287.
Sauveur, 98.
Saxby, 198.
Scheele, 120.
Schaffgotsch, 99.
Schiapparelli, 19.
Schmidt, 7, 54.
Schmidt (Jules), 9, 16.
Schræder, 72.
Schultze, 279.
Schweiger, 71.
Secchi (le P.), 54, 57, 262, 300.
Secrétan, 250.
Sénèque, 6.
Séguier (baron), 184, 206.
Sheppard, 566.
Short, 32.
Siemens, 237, 255.
Silbermann, 17.
Simon (Jules), 379.
Simonin, 137.
Sommeiller, 171.
Sortais, 255.
Symon, 15.
Stamen, 215.
Steierdorf, 182.
Stephan, 17.
Stephenson, 225.
Stirling, 165.
Stoney (Johnstone), 40.

Taupenot, 273.
Tell (J.-B.), 207.
Tessié du Motay, 325.
Thénard (baron), 101, 120.
Thiel, 418.
Thompson, 425.
Thomson, 71.
Tissandier (G.), 155.
Tisserand, 417.
Tœpler, 256.
Tremblay (du), 174.
Tresca, 411.
Trevithick, 200.
Trousseau, 550, 557.
Tyndall, 91, 96.

Ulloa (d'), 32.
Ure, 71.

Velpeau, 120, 550.
Velter, 417.
Verdes, 425.
Vergnette-Lamothe (de), 311.
Verpilleux, 182.
Verrier (Le), 20, 126.
Vidal (de Cassis), 255.
Vignères, 196.
Ville (G.), 412.
Villarceau, 250.
Violette, 212, 420.
Vivian, 200.
Volta, 48.
Voltaire, 404.
Vorster, 414.

Wagner, 145.
Walferdin, 10.
Walter, 98.
Warren de la Rue, 56.
Watt, 174, 200, 242, 278.
Webb, 32.
Weber, 91.
Wesselhoff, 256.
Wheastone, 237, 281.
Whewell, 272.
White (John), 222.
Wild, 265, 275.
Wilde, 236.
Wöhler, 101.
Wolf, 35.
Wolfe, 198.
Woltmann, 274.
Way, 425.
Wren, 279, 291.
Wurtz, 105.

Young, 505.

Zig, 71.

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1

XXIX
F
23